

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут прикладного системного аналізу
Кафедра математичних методів системного аналізу**

«На правах рукопису»
УДК 519.876

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ О.Л. Тимошук
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 124 Системний аналіз**

**на тему: «Система підтримки прийняття рішень на основі двохетапного
модифікованого методу морфологічного аналізу»**

Виконав:

Студент(ка) II курсу, групи КА-62м
Шибирина Анастасія Романівна _____

Керівник:

к.т.н., ст. викладач кафедри ММСА
Савченко І.О. _____

Рецензент:

д.т.н., с.н.с.
Циганок В.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ
2018

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 121 с., 4 рис., 65 табл., 20 джерел.

Об'єкт дослідження - складні системи з наявністю людського фактора, що зазнають змін з часом.

Предмет дослідження - методи морфологічного аналізу з урахуванням змін об'єкта з часом.

Мета роботи - розробка системи підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу.

Наукова новизна роботи визначається наступним теоретичними і практичними результатами, отриманими автором:

- уперше запропоновано використовувати логарифмічний характер залежності тенденцій від часу, що більш точно відображає характер процесів у природі;
- уперше виконано програмну реалізацію двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу з урахуванням змін об'єкта в часі у вигляді системи підтримки прийняття рішень.

Публікація: «Система підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу» - тези конференції SAIT-2018.

Значимість прийняття грамотних рішень зумовлює актуальність даної магістерської дисертації.

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ, ЗМІНА ОБ'ЄКТА В ЧАСІ, АНАЛІЗ ЗАХВОРЮВАНOSTІ, ДВОХЕТАПНИЙ МЕТОД МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ.

ABSTRACT

Master's dissertation: 121 pages, 4 figures, 65 tables, 20 sources.

The object of research - complex systems with the presence of a human factor, experiencing changes over time.

Subject of research - methods of morphological analysis taking into account changes in the object over time.

The purpose of the work is to develop a decision support system on the basis of two-staged modified method of morphological analysis.

The scientific novelty of the work is determined by the following theoretical and practical results obtained by the author:

- for the first time, it is proposed to use the logarithmic nature of the dependence of trends from time, which more accurately reflects the character of processes in nature;
- for the first time program implementation of the two-stage modified method of morphological analysis, taking into account changes in the object in time as a decision support system, was implemented.

Publication: "Decision-making support system on the basis of a two-staged modified method of morphological analysis" - the thesis of the SAIT-2018 conference.

Significance of making competent decisions determines the relevance of this master's thesis.

DECISION SUPPORT SYSTEM, MORPHOLOGICAL ANALYSIS, OBJECT CHANGE IN TIME, ANALYSIS OF DISEASES, TWO STAGED METHOD OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ. МЕТОДИ ЯКІСНОГО АНАЛІЗ.....	12
1.1 Метод Делфі.....	12
1.2 Метод мозкового штурму.....	13
1.3 Метод аналізу перехресного впливу.....	14
1.4 Метод аналізу ієрархій.....	15
1.4.1 Переваги та недоліки методу аналізу ієрархій.....	18
1.5 Метод морфологічного аналізу.....	19
1.6 Огляд систем підтримки прийняття рішень.....	21
1.6.1 Expert Choice.....	22
1.6.2 СППР «Вибір».....	24
1.6.3 MPRIORITY.....	25
1.6.4 СППР «Crystal Info (Seagate Info) 7.5».....	25
1.6.5 Analytica 2.0.....	26
Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ.....	29
2.1 Процедура експертного оцінювання.....	29
2.2 Перший етап методу морфологічного аналізу.....	35
2.2.1 Матриця взаємозв'язків альтернатив параметрів.....	35
2.2.2 Розрахунок імовірностей альтернатив для довільної кількості параметрів.....	38
2.3 Другий етап методу морфологічного аналізу.....	43

2.3.1 Матриця зв'язків альтернатив параметрів.....	43
2.3.2 Результативність альтернатив параметрів морфологічної таблиці стратегій.....	45
2.3.3 Результативність конфігурацій морфологічної таблиці стратегій.....	47
2.4 Врахування параметру часу.....	48
2.4.1 Час як окремий характеристичний параметр.....	49
2.4.2 Постановка задачі.....	50
2.4.3 Вплив подій на об'єкт дослідження.....	51
2.4.4 Вплив тенденцій на об'єкт дослідження.....	53
Висновки до розділу 2.....	55
РОЗДІЛ 3 СТАРТАП.....	57
3.1 Опис ідеї проекту.....	57
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	59
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	60
Висновки до розділу 3.....	77
РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ “MDSS”..	77
4.1 Обґрунтування вибору технологій.....	77
4.2 Практичний приклад роботи СППР.....	78
4.2.1 Перший етап двохетапного МММА.....	80
4.2.2 Другий етап двохетапного МММА.....	94
4.2.3 Врахування параметру часу.....	102
4.2.3.1 Перший етап двохетапного МММА.....	106
4.2.3.2 Морфологічний аналіз рішень.....	111

Висновки до розділу 4.....	116
ВИСНОВКИ.....	117
СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....	119
ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОПОВІДІ.....	122
ДОДАТОК Б ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ.....	136

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СППР - система підтримки прийняття рішень

ОПР - особа, що приймає рішення

МАІ - метод аналізу ієрархій

МТ - морфологічна таблиця

ММА - метод морфологічного аналізу

МММА - модифікований метод морфологічного аналізу

ВСТУП

Задачі прийняття рішень зустрічаються в усіх сферах людської діяльності і характеризуються великою різноманітністю. Значимість прийнятих рішень, а тим більше наслідки прийняття помилкових рішень, в деяких випадках можуть нести катастрофічний характер. Тому дуже важливо, щоб продуктом безпосередньої діяльності особи, що приймає рішення було прийняття грамотних рішень.

Постійне ускладнення процесу прийняття рішень, зокрема, управлінських, разом зі складністю предметних областей та взаємозв'язків факторів, що впливають на рішення, зумовлюють необхідність залучення зовнішніх засобів для підтримки прийняття рішень. У слабоструктурованих предметних областях, де немає можливості отримання детермінованої інформації в достатній кількості, експертні технології є основним засобом підтримки прийняття рішень. Однак при дослідженні проектів, які практично не піддаються аналізу через велику кількість факторів, здатних вплинути на рішення експерта, якість прийнятого ним рішення багато в чому залежить від його особистих можливостей врахувати весь ряд обставин і оцінити ступінь їх впливу на досліджувану проблему.

В сучасних умовах досвіду та інтуїції експерта недостатньо для прийняття правильних та обґрунтованих рішень, тому на сьогоднішній день активно розробляються СППР, що являють собою системи, максимально пристосовані до вирішення завдань повсякденної управлінської діяльності та є інструментом, покликаним допомогти ОПР.

За допомогою СППР вирішуються неструктуровані та слабоструктуровані багатокритеріальні задачі.

Оскільки більшість об'єктів, процесів, явищ, які досліджуються, характеризуються неточністю, невизначеністю, неповнотою та нечіткістю інформації, це зумовило появу ряду методів якісного аналізу, одним з яких є модифікований метод морфологічного аналізу, який дозволяє подати проблему в структурованому вигляді, що в свою чергу дає можливість розглянути всю множину варіантів досліджуваного об'єкта, виявити зв'язки між параметрами задачі, визначити, які параметри є найбільш суттєвими і яка інформація потребує уточнення.

Модифікований метод морфологічного аналізу - це потужний метод дослідження складних багатовимірних проблем, який успішно застосовується в процесі передбачення. У цьому методі на основі вихідних експертних даних отримують ймовірності альтернатив характеристичних параметрів розглянутого об'єкта з урахуванням зв'язків між ними. За допомогою цієї інформації можна порівнювати критичні технології, сценарії і стратегії з точки зору впливу на даний об'єкт, будувати модель об'єкта «що-якщо», фіксуючи одні параметри, щоб простежити поведінку інших; оцінювати ризики і т.д.

Однак, результати, отримані для МММА даного об'єкту, дійсні тільки для того моменту часу, в контексті якого була отримана експертна інформація. Для створення довгострокових сценаріїв і стратегій цієї інформації недостатньо, так як з часом ситуація може істотно змінитися. Тому в процесі прийняття рішень важливо представляти поведінку системи не тільки в один конкретний момент, а на певному проміжку часу [1]. Отже, доцільно використовувати МММА з урахуванням змін, що відбуваються в досліджуваному об'єкті з часом.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ. МЕТОДИ ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ

1.1 Метод Делфі

Метод Делфі – це один з найпоширеніших методів експертного оцінювання, так званий інструмент, що дозволяє враховувати незалежні судження всіх учасників експертної групи за питанням, що розглядається, шляхом послідовного об'єднання ідей і багаторазових корегувань на базі ознайомлення кожного експерта з думками інших експертів. Метод заснований на багаторазовому анонімному інтерв'юванні експертів з метою встановлення величини оцінок в рамках заздалегідь встановленого бажаного інтервалу варіювання оцінок.

Метод Делфі є найбільш формальним з усіх методів експертного прогнозування і найбільш часто використовується в технологічному прогнозуванні, дані якого використовуються потім у плануванні виробництва і збуту продукції. Це груповий метод при якому проводиться індивідуальне опитування групи експертів щодо їхніх припущень про майбутні події в різних областях, де очікуються нові відкриття або вдосконалення [2].

Метод Делфі характеризують три специфічні особливості:

- анонімні експертні оцінки;
- зворотний зв'язок;
- статистична обробка результатів опитування та формування групової відповіді.

Метод Делфі як експертне опитування часто є етапом інших методів якісного аналізу.

1.2 Метод мозкового штурму

Метод мозкового штурму - один з найефективніших методів вирішення задач шляхом генерування великої кількості варіантів рішень, їх подальшому аналізу та виборі найкращого. Цей метод базується на психологічній активності експертної групи та дозволяє вивільнити творчу енергію кожного члена групи, включивши її в процес пошуку рішень поставленої проблеми. Основна ідея методу полягає в генерації якомога більшої кількості варіантів, при чому не важливо наскільки вони реалістичні чи безглузді. Зазвичай, експертна група ділиться на дві частини:

- генератори ідей - це зазвичай досить творчі люди з креативним мисленням, що вміють швидко підхвачувати чужі ідеї та розвивати їх;
- аналітики - люди з аналітичним складом розуму, що мають великий запас знань в предметній області, що досліджується, і здатні критично оцінювати ідеї.

Правильно організований мозковий штурм включає три обов'язкових етапи. Етапи відрізняються організацією і правилами їх проведення:

- Постановка проблеми. На початку цього етапу проблема повинна бути чітко сформульована. Відбувається відбір учасників штурму, визначення ведучого і розподіл інших ролей учасників залежно від поставленої проблеми і обраного способу проведення штурму.
- Генерація ідей. Основний етап, від якого багато в чому залежить успіх всього мозкового штурму. Тому дуже важливо дотримуватись правил цього етапу:

- а) головне - кількість ідей;
 - б) повна заборона на критику;
 - в) незвичайні та навіть абсурдні ідеї вітаються;
 - г) комбінуйте і покращуйте будь-які ідеї.
- Групування, відбір і оцінка ідей. На цьому етапі, на відміну від другого, оцінка не обмежується, а навпаки, вітається [3].

1.3 Метод аналізу перехресного впливу

Крок 1. Визначення подій, що включені до аналізу. При використанні методу аналізу перехресного впливу створюється список можливих майбутніх подій, що будуть аналізуватися на наступних етапах. Зазвичай для створення такого списку збирається форум або конференція експертів, які протягом декількох днів за допомогою методів мозкового штурму та сканування збирають необхідну інформацію.

Крок 2. Визначення часового інтервалу дослідження. Замовник дослідження визначає один чи декілька інтервалів часу в майбутньому, згідно з якими будуть оцінюватись усі апіорні та апостеріорні ймовірності.

Крок 3. Підготовка матриці перехресного впливу. Готується до заповнення матриця перехресного впливу (рисунок 1.1).

Подія	Ймовірність події	Умовна ймовірність події					Умовна ймовірність події		
		П1	П2	...	П(n-1)	П(n)	P1	...	P(m)
П1		---		
П2			---	
.....									
П(n-1)				...	---			...	
П(n)				...		---		...	

Рисунок 1.1 - Формат матриці перехресного впливу

Крок 4. Оцінка перехресного впливу подій Експертами надається оцінка перехресного впливу подій. Для цього проводяться інтерв'ю з експертами або готуються та розсилаються опитувальники з ключових технологій, що досліджуються. Для введення експертних оцінок використовується шкала Міллера, яка надає можливість експертам одночасно надавати як кількісну, так і якісну інформації.

Крок 5. Оцінка апріорної ймовірності подій Експертами проводиться оцінювання апріорної ймовірності кожної події. Для реалізації цього кроку в Інформаційній платформі сценарного аналізу технологічного передбачення використовуються ті ж методи та алгоритми, що й на кроці 4.

Крок 6. Уточнення матриці перехресного впливу Для розрахунку ймовірностей подій з урахуванням перехресного впливу використовується метод Монте-Карло, який включає в себе багаторазову побудову можливих варіантів сценаріїв здійснення подій.

Крок 7. Оцінка чутливості матриці перехресного впливу до рішень ОПР.

Крок 8. Підготовка результатів [4].

Отримані внаслідок роботи методу оцінки ймовірності подій використовуються для оцінок ймовірності можливих сценаріїв розвитку майбутнього. Крім того, за методом можна будувати і аналізувати схеми впливу подій одна на одну, виявляючи приховані зв'язки. Таким чином цей метод зручно використовувати при дослідженні майбутнього на певному проміжку часу в деякій галузі, де очікується можлива поява множини подій, пов'язаних між собою.

1.4 Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (MAI) - це потужний математичний інструмент системного підходу до вирішення складних задач прийняття рішень. Засновником цього методу є відомий американський математик Томас Сааті. На сьогоднішній день MAI набув високої популярності і має не лише широке практичне використання, а й досліджується вченими по всьому світу. Даний метод дозволяє за допомогою певного алгоритму представити проблему прийняття рішення у структурованому вигляді - у вигляді ієрархії, зробити порівняння і в подальшому кількісно оцінити альтернативні варіанти її вирішення.

Метод полягає в декомпозиції об'єкта дослідження на прості складові і поетапному встановленні пріоритетів оцінюваним компонентам з використанням методу попарних порівнянь. MAI включає в себе процедури синтезу множинних суджень, отримання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень.

В основі МАІ лежать наступні положення:

- будь-яка складна проблема може бути піддана декомпозиції;
- результат декомпозиції можна представити у вигляді ієрархічної системи рівнів, що нашаровуються, кожен з яких складається з багатьох елементів;
- якісні порівняння експертами попарної значущості елементів на будь-якому рівні ієрархії можуть бути перетворені в кількісні співвідношення між ними, при цьому вони будуть зображати об'єктивну реальність;
- можливий синтез відносин між різними рівнями та елементами ієрархії.

Рішення проблеми за допомогою методу аналізу ієрархій - це процес поетапного встановлення пріоритетів. Він включає наступні компоненти:

- визначення та виявлення проблеми;
- декомпозицію проблеми в ієрархію завдань;
- виділення критеріїв оцінки рішення задач;
- побудову матриць парних порівнянь критеріїв;
- обчислення пріоритетів;
- синтез пріоритетів;
- перевірку узгодженості.

Реалізація цих етапів в рамках методу аналізу ієрархій дозволяє отримати об'єктивні кількісні оцінки вагомості всіх елементів в структурі ієрархії, пов'язаної з поставленою проблемою [5]

1.4.1 Переваги та недоліки методу аналізу ієрархій

Серед основних переваг МАІ варто відзначити наступні:

- МАІ враховує як суб'єктивні, так і об'єктивні оцінки. Надаючи якісний механізм для перевірки узгодженості експертних суджень, МАІ зменшує вплив упередженості експертів у прийнятті рішень [5].
- Збір даних в МАІ відбувається за допомогою процедури попарних порівнянь, тобто оцінки альтернатив по парах, що, як стверджують психологи, набагато легше для мозку людини ніж порівнювати одразу декілька альтернатив, тримаючи в полі зору всі фактори одночасно. Таким чином значно збільшується точність отриманих результатів.
- Представлення системи у вигляді ієрархії можна використовувати для опису того, як впливають зміни пріоритетів на верхніх рівнях на пріоритети елементів нижніх рівнів[6].
- МАІ дозволяє враховувати як кількісні так і якісні оцінки експертів.
- МАІ характеризується своєю стійкістю, адже малі зміни викликають малий ефект на саму ієрархію.
- МАІ є досить гнучким методом, адже додавання нових параметрів чи альтернатив до добре структурованої ієрархії не руйнують її характеристик, а приводить лише до необхідності порівняння нових пар, так само як і виключення певних альтернатив приводить лише до викреслення їх з матриць парних порівнянь.
- МАІ є універсальним методом, що підходить для будь-якої сфери людської діяльності.

- МАІ дозволяє оцінити важливість врахування кожного фактора, що впливає на пріоритети рішень.

Як і будь-який інший метод МАІ має свої недоліки:

- Достовірність отриманих експертних оцінок досить важко перевірити і подальші розрахунки будуються на довірі до отриманих експертних суджень.
- МАІ є досить трудомістким, адже при збільшенні кількості факторів та альтернатив збільшується і кількість попарних порівнянь, що необхідно виконати [5].
- Якщо поле, в якому проводиться дослідження ще не повністю вивчене, буває так, що експерти не мають чіткої думки стосовно деяких факторів, тому часто дають досить інтуїтивні оцінки, що негативно впливає на точність прийняття рішення.

1.5 Метод морфологічного аналізу

Метод морфологічного аналізу - це потужний інструмент в наукових дослідженнях для систематизації знаходження всіх можливих варіантів вирішення поставленої задачі, базуючись на аналізі структури досліджуваного об'єкта. Даний метод широко використовується в прогнозуванні складних процесів та створенні принципово нових сценаріїв. Після того як були побудовані всі можливі варіанти рішень, даний метод надає необхідний математичний апарат для ранжування цих варіантів і вибору найкращого з них, який є оптимальним в полі, що розглядається.

Морфологічний аналіз був створений швейцарським астрофізиком Ф. Цвіккі, який за допомогою цього методу передбачив існування нейтронних зірок. Одним з найголовніших інструментів МА є морфологічна скриня, що являє собою візуальну інтерпретацію морфологічного поля. Морфологічна скриня складається з ящиків, кожна шухлядка якого являє собою єдине комбіноване рішення, яке складається з одного елемента з кожного виміру (рисунок 1.2).

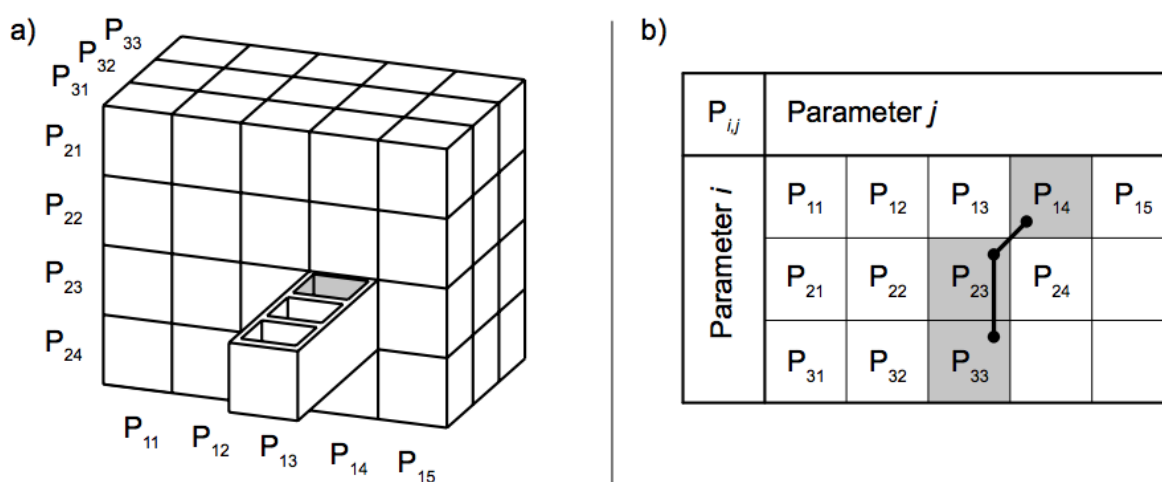


Рисунок 1.2 - Приклад морфологічної скрині

Морфологічна шухлядка дає змогу легко зрозуміти морфологічну скриню як концепцію, але її можна використовувати лише для рішень від одного до трьох вимірів [18], адже більшу кількість вимірів важко відобразити у просторовому вигляді. Альтернативним рішенням є матричне представлення морфологічної скрині, яке здатне відобразити нескінченну кількість вимірів [19].

Морфологічний аналіз передбачає картографування дисципліни для отримання широкої перспективи існуючих рішень та майбутніх можливостей. Цвікі виклав п'ять основних кроків у ММА:

1. Формулювання та визначення проблеми;
2. Ідентифікація та характеристика всіх параметрів;
3. Побудова багатовимірної матриці (морфологічної скрині чи таблиці), комбінації якої міститимуть усі можливі рішення;
4. Оцінка результатів на основі здійсненості та досягнення бажаних цілей;
5. Поглиблений аналіз кращих можливостей з урахуванням наявних ресурсів.

Кроки 2 та 3 утворюють серце морфологічного аналізу, оскільки кроки 1, 4 та 5 часто задіяні в інших формах аналізу. Крок 2, визначення параметрів, передбачає вивчення проблеми та сучасних рішень. Цей крок може включати розробку дерева релевантності для визначення певної теми. Після ідентифікації параметрів може бути побудована морфологічна скриня.

Мета ММА - організувати інформацію відповідним та корисним чином, щоб допомогти вирішити проблему або стимулювати нові способи мислення. Не існує "правильного" або "неправильного" способу побудови МТ. Однак гарне знання проблеми є важливим для розробки найбільш ефективних рішень [19].

1.6 Огляд систем підтримки прийняття рішень

На сьогоднішній день існує велика кількість СППР, призначених для прийняття рішень в різних сферах людської діяльності. СППР допомагають ОПР значно підвищити ефективність управління

підприємством, фірмою чи людьми за рахунок зменшення часових затрат на проведення аналізу, зменшення психологічного навантаження і відповідальності на ОПР та складності прийняття комплексних стратегічних рішень на основі екстраполяції існуючого досвіду ОПР на поточну ситуацію.

Проаналізуємо існуючі СППР, розглянувши їх особливі властивості, інтерфейс та функціональність.

1.6.1 Expert Choice

Програма Expert Choice була створена на початку 1980-х в університеті Дж. Вашингтона (США) Ернестом Форманом на основі МАІ та існує як у вигляді програмного продукту для персональних комп'ютерів, так і як веб-додаток для онлайн користувачів в інтернеті.

Робота програми починається з вікна ModelView, що складається з трьох панелей:

- панель TreeView відображає ієрархічний список ознак (критеріїв) і підознак (підкритеріїв) об'єкта.
- панель Alternatives відображає альтернативи.
- панель Information document може відображати інформацію про ознаки і альтернативи в областях TreeView чи Alternatives.

МАІ використовує парні порівняння для отримання оцінок відносної важливості ознак. Передбачається три режими парного порівняння: за значимістю, перевагою та правдоподібністю (importance, preference, likelihood). Importance найбільше підходить для порівняння відносної

важливості ознак. Preference варто використовувати при порівнянні відносної важливості альтернатив по відношенню до ознак. Likelihood варто використовувати при порівнянні ймовірності появи невизначених подій або сценаріїв (наприклад, при аналізі ризиків).

Для порівняння ознак використовуються вербальні судження з використанням слів Equal, Moderate, Strong, Very Strong, Extreme. Оцінка Extreme означає найвищу перевагу. Кількісні оцінки будуються на основі 0-бальної шкали Сааті [10].

Серед особливостей системи варто відмітити:

- простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не вимагає специфічних математичних знань;
- наявність трьох типів парних порівнянь: за значимістю, перевагою та правдоподібністю;
- наявність трьох режимів парних порівнянь: кількісного, вербального і графічного;
- можливість роботи декількох експертів та подальший розрахунок ступеня узгодженості їх суджень.

Отже, СППР Expert Choice досить потужний інструмент з великою кількістю функцій та налаштувань, проте має декілька недоліків, основними з яких є: висока вартість ліцензованої продукції, використання лише одного методу МАІ для прийняття рішень та відсутність україномовної локалізації продукту.

1.6.2 СППР «Вибір»

СППР «Вибір» є аналітичною системою, заснованою на МАІ, що призначена для вирішення широкого класу задач, що виникають в процесі планування і управління. Система дозволяє вирішити, наприклад, наступні задачі:

- аналіз ринку збуту продукції;
- оцінка привабливості покупців;
- визначення оптимальної продуктивності програми і цінової політики;
- фінансово-економічна оцінка інвестиційних проектів;
- задачі розподілу ресурсів;
- вибір професії, місця роботи, підбір кадрів.

Серед особливостей СППР «Вибір» варто виділити такі:

- контроль вхідної інформації на виявлення найпростіших помилок;
- можливість роботи з файловою вхідною інформацією;
- можливість роботи з двома видами інформації: кількісної і якісної;
- вбудовані елементи допомоги користувачу по роботі з системою;
- можливість повернутися назад на необхідну кількість кроків[11].

Основними недоліками СППР «Вибір» є відсутність веб-версії, можливість використання лише для операційної системи Windows, можливість користуватися програмою безкоштовно лише обмежений час, після чого вимагається досить коштовна ліцензія.

1.6.3 MPRIORITY

В основі СППР «MPRIORITY» лежать декомпозиція і синтез, що використовуються людиною в процесі пізнання, і за допомогою яких створюється структура задачі прийняття рішень - ієрархія. MPRIORITY побудована на базі MAI [12]. Серед особливостей системи варто виділити такі:

- простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- наявність механізму готових шаблонів;
- можливість отримання результату у вигляді діаграм.

Основними недоліками СППР «MPRIORITY» є:

- можливість роботи лише на операційній системі windows;
- максимальна кількість рівнів ієрархій - 10, елементів вибору - 9;
- неможливість роботи декількох експертів;
- досить складний для звичайного користувача інтерфейс програми;
- слабка обробка помилок.

1.6.4 СППР «Crystal Info (Seagate Info) 7.5»

СППР «Crystal Info (Seagate Info) 7.5» побудована на базі гнучкої технології доступу до даних та їх обробці та забезпечує стандартизацію документообігу і звітності в масштабі підприємства. Дана система підтримує технологію OLAP, що дозволяє швидко отримувати відповіді на важливі для бізнесу питання. «Crystal Info (Seagate Info) 7.5» існує у

вигляді веб-додатку і інтегрована з системою програмної архівації і резервного копіювання Crystal Backup Exec, що забезпечує можливість швидкого відновлення даних. Також користувач може встановлювати опції резервного копіювання як глобально для всієї системи, так і для окремих об'єктів.

«Crystal Info (Seagate Info) 7.5» підтримує всі основні джерела даних:

- PC та SQL-сервера;
- ODBC;
- багатовимірні дані;
- специфічні для програмних продуктів Microsoft дані, таких як Exchange або Outlook [13].

Основним недоліком системи є підтримка обмеженої кількості операційних систем (лише Windows певних версій) та висока вартість продукту.

1.6.5 Analytica 2.0

СППР Analytica 2.0 - програмне забезпечення кількісного моделювання. Її можливості включають аналіз сценаріїв, діаграми впливу, багатовимірне моделювання й аналіз ризику. Система забезпечує прозорість і потужність бізнес-моделювання, це інструментальний засіб створення й аналізу кількісних бізнес-моделей. Analytica 2.0 широко використовується для створення й дослідження моделей у різних галузях:

- бізнес і фінанси;

- аеропростір;
- консалтинг;
- електронна комерція;
- охорона здоров'я;
- енергетика й навколишнє середовище;
- захист;
- науково-технічні дослідження;
- виробництво;
- телекомунікації;
- вища освіта [14].

СППР Analytica 2.0 вміє керувати ризиками і невизначеністю за рахунок якісного моделювання за методом Монте-Карло випадкових величин для обчислення характеристик і розподілу. Також СППР має досить зручний графічний інтерфейс на базі діаграм впливу для об'єднання моделей до загальної структури. Однією з великих переваг Analytica 2.0 над іншими СППР є існування веб-версії продукту, що дозволяє користувачам користуватись ним з будь-якого девайсу в будь-якому місці, де є підключення до мережі інтернет.

Серед важливих функцій системи варто виділити:

- стандартні арифметичні функції;
- економічний аналіз;
- функції виміру трикутників;
- обробку багатовимірних однотипних даних;
- можливість роботи з матрицями;
- можливість диференціального та інтегрального обчислення;
- аналіз кількісних та якісних даних;
- аналіз чутливості і неповноти даних.

Висновки до розділу 1

Огляд існуючих методів якісного аналізу досліджуваної проблеми дозволяє зробити висновок, що більшості з них притаманний ряд недоліків, який не дозволяє використовувати їх у процесі передбачення. Як наслідок, в якості методу багатокритеріального оцінювання було обрано метод морфологічного аналізу, що на сьогоднішній день є найменш дослідженим, проте найбільш перспективним. Також ММА, на відміну від інших методів, дозволяє ОПР представляти, моделювати стан і поведінку об'єкта протягом тривалого часу після проведення дослідження без додаткового залучення фахівців з технологічного передбачення і експертів.

Провівши детальний огляд існуючих СППР, можна відмітити спільні недоліки для кожної з них: висока вартість ліцензованого продукту, не завжди простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та відсутність інструментів для прогнозування поведінки досліджуваного об'єкта з часом, що призводить до того, що отримані результати будуть актуальними лише для конкретного моменту часу і можуть стати недійсними в будь-який інший. Також виявилось, що більшість існуючих СППР побудовані на основі МАІ, тому мають ті самі недоліки, що і МАІ. На жаль, в процесі дослідження не було знайдено жодної СППР, побудованої на базі ММА з урахуванням змін в часі, що стало поштовхом для розробки власного програмного продукту, який вирішує цю проблему.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ

Основним об'єктом ММА є морфологічна таблиця. Вона складається з N характеристичних параметрів F_i , $i \in \overline{1, N}$. Кожному характеристичному параметру F_i відповідає множина альтернатив $a_j^{(i)}$, $j \in \overline{1, n_1}$ [20].

Під час застосування ММА в задачах технологічного передбачення характеристичними параметрами, як правило, є фактори, стан яких характеризує стан проблеми в цілому; альтернативами характеристичних параметрів є альтернативні стани відповідних факторів, конфігурацією морфологічної таблиці є сценарій. Для деякої конкретної проблеми структура морфологічної таблиці визначається спеціалістами з технологічного передбачення, можливо, на основі даних, отриманих на етапі попереднього вивчення проблеми. Для подальших розрахунків необхідно отримати початкові наближення $p_j'^{(i)}$ для ймовірностей альтернатив характеристичних параметрів [9], для чого необхідно скористатися процедурою експертного оцінювання.

2.1 Процедура експертного оцінювання

Грунтовні знання експертів у тій чи іншій області та їх заснована на багаторічному досвіді інтуїція є основою методів експертного оцінювання.

А вміння узагальнити свій досвід та правильно оцінити вплив того чи іншого фактору на об'єкт дослідження є невід'ємною частиною буденного життя кожного експерта [15].

Експертні оцінки - це попередній етап методу морфологічного аналізу, який, базуючись на досвіді та знаннях спеціалістів надає початкові наближення $p_j^{(i)}$ для морфологічної таблиці, що є важливим етапом у процедурі передбачення.

Початкові наближення можна отримати у такі способи:

- 1) Якщо використання процедури експертного оцінювання не є можливим за будь-яких причин: фінансова недоцільність, нераціональний розподіл ресурсів, брак часу, нестача кваліфікованих осіб у досліджуваній області, то в якості початкових значень для альтернатив можна взяти однакові значення $p_j^{(i)} = \frac{1}{n_i}$.
- 2) Метод безпосереднього експертного оцінювання полягає в тому, що кожній альтернативі $a_j^{(i)}$, $j \in \overline{1, n_1}$ параметра F_i , $i \in \overline{1, N}$ кожен експерт надає свою суб'єктивну оцінку $\overline{p_j^{(i)}}$ за деякою оцінювальною шкалою. При цьому найбільш ймовірній альтернативі приписується найбільша кількість балів за прийнятною шкалою. Найпоширеніший діапазон оцінок варіюється від 0 до 1, від 0 до 5, від 0 до 10, від 0 до 100. Якщо розглядати найбільш простий випадок, то оцінка може мати значення 0 або 1. Інколи досить зручно виражати оцінку не в кількісному, а в якісному вигляді, тобто у формі слова або фрази, наприклад, "висока", "середня" і "низька" ймовірності, що в кінцевому результаті зручно переводити в кількісну форму, або бали (наприклад, 3, 2, 1). Однією з найчастіше використовуваних шкал переведення якісних оцінок в кількісних є шкала, представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Шкала для оцінювання альтернатив морфологічної таблиці

Якісна характеристика	Кількісна характеристика
Практично неможливо	[0 - 0,15]
Дуже мала ймовірність	[0,1 - 0,25]
Мала ймовірність	[0,25 - 0,4]
Середня ймовірність	[0,4 - 0,6]
Велика ймовірність	[0,6 - 0,75]
Дуже велика ймовірність	[0,75 - 0,9]
Практично гарантовано	[0,9 - 1]

Отримані оцінки альтернатив для кожного параметра нормують (2.1):

$$p_j^{(i)} = \frac{\overline{p_j^{(i)}}}{\sum_{j=1}^n \overline{p_j^{(i)}}} \quad (2.1)$$

Використання зазначеного методу доцільне лише за високої впевненості у повній інформованості експертів про досліджувані властивості об'єкта.

3) Метод експертного оцінювання попарними порівняннями полягає в тому, що для кожного параметра F_i , $i \in \overline{1, N}$ експертами оцінюється кожна пара його альтернатив з точки зору переваги однієї альтернативи над

іншою. Для пари альтернатив $a_j^{(i)}$, $a_k^{(i)}$ дається оцінка $m_{jk}^{(i)}$ згідно з фундаментальною вербальною шкалою наведеною в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Фундаментальна шкала експертних суджень визначення оцінки переваги

Кількісна оцінка переваги $m_{jk}^{(i)}$	Якісна характеристика переваги
1	Однакова ймовірність
3	Слабка перевага
5	Суттєва перевага
7	Дуже сильна перевага
9	Абсолютна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні значення

Якщо оцінка $m_{jk}^{(i)}$ подана на основі порівняння j -ї та k -ї альтернатив, то оцінка $m_{kj}^{(i)}$ має обернене значення (2.2):

$$m_{kj}^{(i)} = \frac{1}{m_{jk}^{(i)}} \quad (2.2)$$

Тоді оцінки ймовірності альтернатив мають вигляд (2.3):

$$p_j^{(i)} = \frac{\sum_{k=1}^{n_i} m_{jk}^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} m_{jk}^{(i)}} \quad (2.3)$$

Бувають випадки, коли за великої кількості альтернатив на результати висновків експертів при попарному порівнянні впливають певні психологічні фактори і, як наслідок, перевагу отримує не та альтернатива. Тому інколи в таких випадках проводять повторне попарне порівняння для виключення таких похибок.

Метод попарних порівнянь досить простий і має дуже високу точність порівняно з іншими методами, хоча і потребує більше часу та більшої кількості порівнянь від експертів. Проте для більшості практичних задач достатньо звичайного методу прямого експертного оцінювання, адже чим більше залежностей між параметрами морфологічної таблиці, тим менше результат залежить від початкових наближень.

Експертне оцінювання, що є основою методів якісного аналізу, часто є єдиним джерелом інформації про об'єкт передбачення. Однак, експертні оцінки суб'єктивні і відображають реальний світ лише в деякому наближенні. У зв'язку з цим, якщо на базі результатів методів якісного аналізу приймається рішення, завжди існує можливість того, що неточність вхідних даних приведе до помилкового ранжування альтернатив, тому іноді для вирішення цієї проблеми виконують аналіз чутливості. Такий підхід дозволяє виявити, які оцінки більш критичні, тобто приводять до зміни рангів альтернатив в кінцевому ранжуванні при менших відхиленнях. На ці оцінки необхідно звернути особливу увагу і, можливо, провести уточнююче оцінювання, оскільки отримана інформація може виявитися визначальною для прийняття рішення [16].

Схематично процедуру експертного оцінювання наведено на рисунку 2.1.

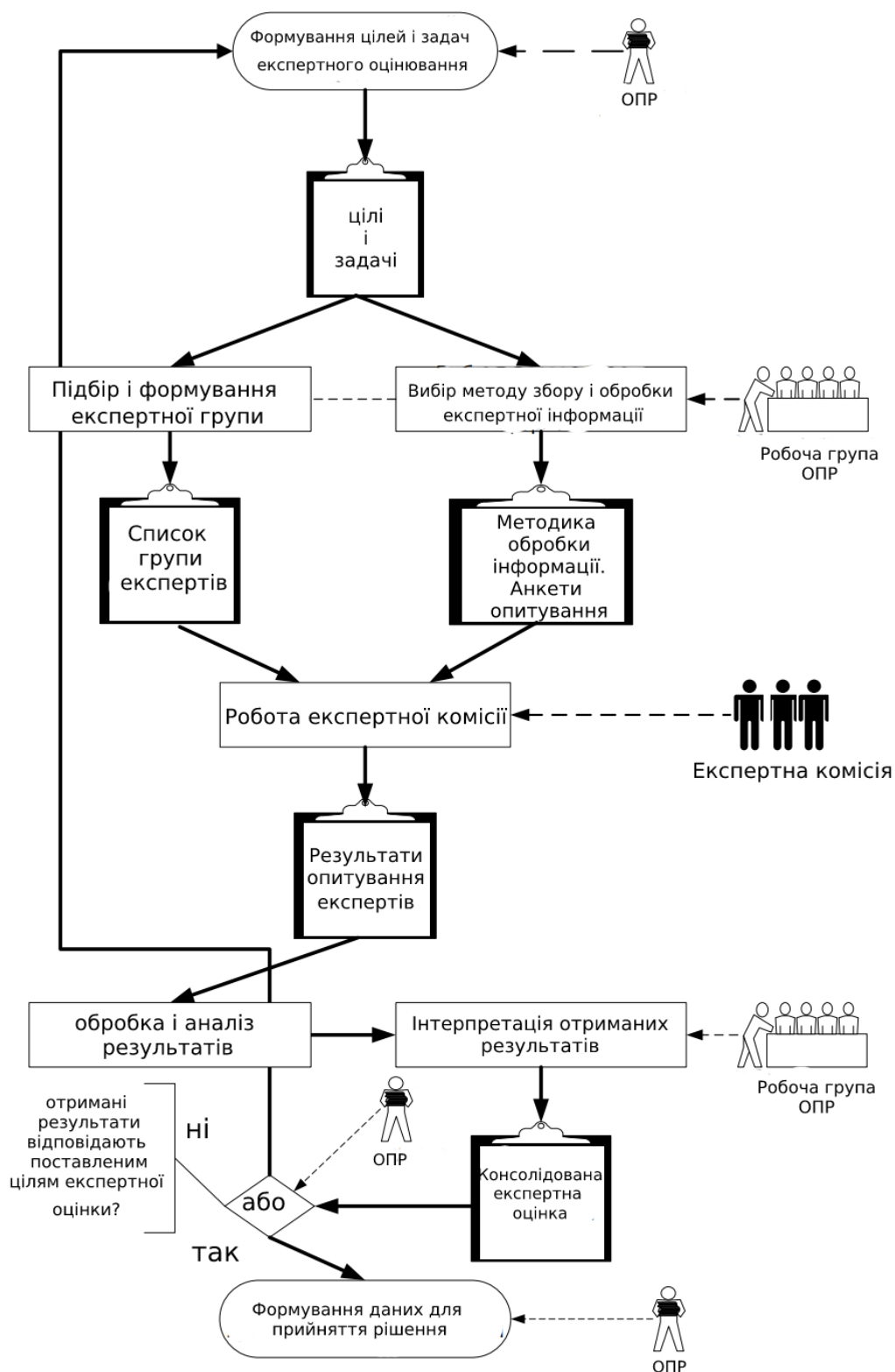


Рисунок 2.1 - Схема процедури експертного оцінювання

2.2 Перший етап методу морфологічного аналізу

2.2.1 Матриця взаємозв'язків альтернатив параметрів

На першому етапі двохетапного МММА аналізуються неконтрольовані чинники. Побудовану на першому етапі морфологічну таблицю називають морфологічною таблицею сценаріїв.

Два параметри називатимемо прямо пов'язаними в морфологічному полі, якщо вони безпосередньо накладають обмеження один на одного. Важливо відмітити, що зв'язність має бути строго прямою. Досить часто виникають ситуації, коли параметр F_{i_1} та параметр F_{i_2} пов'язані між собою через третій параметр F_{i_3} . Це значить, що параметри F_{i_1} та F_{i_2} можуть опосередковано обмежувати один одного, оскільки вони обидва обмежені параметром F_{i_3} . Проте, якщо на додаток до цього непрямого зв'язку також накладається пряма залежність параметрів F_{i_1} та F_{i_2} , тоді зв'язок між цими двома параметрами враховується двічі. Такі подвійні обмеження можуть загрожувати надмірним обмеженням всієї моделі, з можливим затухання інших конфігурацій.

Для врахування зв'язків між параметрами морфологічної таблиці використовується числова матриця взаємної узгодженості. Кожній парі альтернатив $a_{j_1}^{(i_1)}$, $a_{j_2}^{(i_2)}$ різних параметрів F_{i_1} , F_{i_2} присвоюється оцінка $c_{i_1 j_1, i_2 j_2} \in [-1; 1]$ згідно з таблицею 2.3.

Таблиця 2.3 - Пояснення оцінок матриці взаємної узгодженості

Оцінка	Пояснення
-1	Альтернативи повністю неузгоджені; конфігурація з цією парою альтернатив неможлива
(-1;0)	Альтернативи неузгоджені; вибір однієї з них певною мірою зменшує ймовірність вибору іншої
0	Альтернативи незалежні; вибір однієї з них не впливає на вибір іншої
(0;1)	Альтернативи узгоджені; вибір однієї з них певною мірою збільшує ймовірність вибору іншої
1	Альтернативи повністю узгоджені; вибір однієї з них тягне за собою вибір іншої

Для заповнення матриці взаємної узгодженості експертам пропонуються питання щодо узгодженості кожної пари альтернатив різних характеристичних параметрів. Кількість питань можна зменшити завдяки виключенню очевидних питань. Форма питань може бути різною, зручно ставити питання у формі оцінки правомірності висловлювання, що пов'язує відповідні альтернативи. Відповіді експертів переводяться в числову форму за шкалою наведеною в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Шкала експертних оцінок матриці взаємної узгодженості

Відповідь експерта	Числове значення
Абсолютно невірно	-1
В цілому невірно	-0,7
Скоріше “ні”, ніж “так”	-0,3
Частково вірно, частково невірно	0
Скоріше “так”, ніж “ні”	0,3
В цілому вірно	0,7
Абсолютно вірно	1

У результаті цієї процедури формується матриця взаємної узгодженості, як показано на рисунку 2.2.

Параметри морфологічної таблиці		F_1				...	F_{N-1}			
		$a_1^{(1)}$	$a_2^{(1)}$	...	$a_{n_1}^{(1)}$	...	$a_1^{(N-1)}$	$a_2^{(N-1)}$	...	$a_{n_{N-1}}^{(N-1)}$
F_2	$a_1^{(2)}$	$c_{11,21}$	$c_{12,21}$	...	$c_{1n_1,21}$					
	$a_2^{(2)}$	$c_{11,22}$	$c_{12,22}$	...	$c_{1n_1,22}$					
					
	$a_{n_2}^{(2)}$	$c_{11,2n_2}$	$c_{12,2n_2}$	...	$c_{1n_1,2n_2}$					
...				
F_N	$a_1^{(N)}$	$c_{11,N1}$	$c_{12,N1}$	...	$c_{1n_1,N1}$	...	$c_{(N-1)1,N1}$	$c_{(N-1)2,N1}$	...	$c_{(N-1)n_{N-1},N1}$
	$a_2^{(N)}$	$c_{11,N2}$	$c_{12,N2}$	...	$c_{1n_1,N2}$		$c_{(N-1)1,N2}$	$c_{(N-1)2,N2}$	...	$c_{(N-1)n_{N-1},N2}$

	$a_{n_N}^{(N)}$	c_{11,Nn_N}	c_{12,Nn_N}	...	c_{1n_1,Nn_N}		$c_{(N-1)1,Nn_N}$	$c_{(N-1)2,Nn_N}$	...	$c_{(N-1)n_{N-1},Nn_N}$

Рисунок 2.2 - Матриця взаємної узгодженості

Вважається, що параметри в парі однаково впливають один на одного, тому, як правило, наводять тільки половину матриці [9].

2.2.2 Розрахунок ймовірностей альтернатив для довільної кількості параметрів

Експертні оцінки, отримані на попередньому етапі, не враховують взаємозв'язки між параметрами, визначені матрицею взаємозв'язків альтернатив параметрів, і тому є наближеними. Щоб отримати остаточні значення ймовірностей, необхідно розв'язати задачу розрахунку ймовірностей альтернатив параметрів.

Постановка задачі:

Дано:

- морфологічну таблицю, що містить множину характеристичних параметрів $F = \{F_i \mid i \in \overline{1, N}\}$, кожен параметр F_i описується множиною альтернатив $A_i = \{a_j^{(i)} \mid j \in \overline{1, n_i}\}$
- Незалежні ймовірності всіх альтернатив $\{p_j^{(i)} \mid i \in \overline{1, N}, j \in \overline{1, n_i}\}$
- Значення взаємозв'язків всіх пар альтернатив параметрів $\{c_{i_1 j_1, i_2 j_2} \mid i_1, i_2 \in \overline{1, N}; i_1 \neq i_2; j_1 \in \overline{1, n_{i_1}}; j_2 \in \overline{1, n_{i_2}}\}$

Потрібно:

- Розрахувати ймовірності $p_j^{(i)}$ настання кожної з альтернатив $a_j^{(i)}$.

Для цього вирішується система Байєса, що має наступний вигляд (2.4):

$$\left\{ \begin{array}{l}
p_1^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_1^{(1)} | a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}) P(\{a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) \\
\dots \\
p_{n_1}^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_{n_1}^{(1)} | a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}) P(\{a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) \\
\dots \\
p_1^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(a_1^{(N)} | a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}\}) \\
\dots \\
p_{n_N}^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(a_{n_N}^{(N)} | a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}\}) \\
\\
\sum_{i=1}^{n_1} p_i^{(1)} = 1 \\
\\
\dots \\
\\
\sum_{i=1}^{n_N} p_i^{(N)} = 1
\end{array} \right. \quad (2.4)$$

Відомо, що (2.5):

$$\begin{aligned}
p_1^{(1)} &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_1^{(1)} | a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}) P(\{a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \\
&= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}) = \\
&= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)}
\end{aligned} \quad (2.5)$$

Тоді систему (2.4) можна переписати наступним чином (2.6):

$$\left\{ \begin{array}{l}
p_1^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)} \\
\dots \\
p_{n_1}^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{n_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)} \\
p_1^{(2)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_3}^{(3)}) p_{j_3}^{(3)} \\
\dots \\
p_1^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)} \\
\dots \\
p_{n_N}^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)} \\
\sum_{i=1}^{n_1} p_i^{(1)} = 1 \\
\dots \\
\sum_{i=1}^{n_N} p_i^{(N)} = 1
\end{array} \right. \quad (2.6)$$

Далі постає необхідність у знаходженні виразу наступного вигляду:

$P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)})$, $k \in \overline{1, N}$. Цей вираз повинен відповідати

наступним умовам:

- Якщо хоча б для однієї альтернативи $a_{j_m}^{(m)}$, $m \in \overline{1, N}$, $m \neq k$ з конфігурації $\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$, $c_{k_{j_k}, m_{j_m}} = 0$ то (2.7):

$$P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)}) = 0 \quad (2.7)$$

- $P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)})$ монотонно зростає при збільшенні будь-якого $c_{k_{j_k}, m_{j_m}} = 0$, $m \in \overline{1, N}$, $m \neq k$
- $P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)})$ монотонно зростає при збільшенні будь-якого $p_{j_m}^{(m)} = 0$, $m \in \overline{1, N}$, $m \neq k$
- Для будь-якої альтернативи виконується (2.8):

$$\sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_{k-1}=1}^{n_{k-1}} \sum_{j_{k+1}=1}^{n_{k+1}} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)}) = 1 \quad (2.8)$$

- Для всіх альтернатив $a_j^{(i)}$ існує нетривіальний набір таких значень $p_j^{(i)}$, що ймовірність будь-якої конфігурації не змінюється при зміні порядку множення ймовірностей її компонентів.

Одним із способів знаходження значення $P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_k}^{(k)})$

яке б відповідало вимогам є такий (для $k=1$) (2.9 - 2.10):

$$P(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_1}^{(1)}) = \frac{P'(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_1}^{(1)})}{\sum_{k_2=1}^{n_2} \sum_{k_3=1}^{n_3} \dots \sum_{k_N=1}^{n_N} P'(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_1}^{(1)})} \quad (2.9)$$

$$P'(a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)} | a_{j_1}^{(1)}) = \prod_{m=2}^N p_{j_m}^{(m)} \prod_{m=1}^{N-1} \prod_{l=m+1}^N (c_{m_{j_m}, j_{j_l}} + 1) \quad (2.10)$$

Якщо ввести наступні позначення (2.11):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \left[\sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_k^{(1)}, a_l^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_N^{(N)}\} | a_l^{(2)}) \right]_{k \in 1, n_1, l \in 1, n_2} \\ P_2 = \left[\sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_4=1}^{n_4} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_k^{(2)}, a_l^{(3)}, a_{j_4}^{(4)}, \dots, a_N^{(N)}\} | a_l^{(3)}) \right]_{k \in 1, n_2, l \in 1, n_3} \\ \dots \\ P_N = \left[\sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_l^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_k^{(N)}\} | a_l^{(1)}) \right]_{k \in 1, n_N, l \in 1, n_1} \end{array} \right. \quad (2.11)$$

а також (2.12):

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{x}_1 = \left(p_1^{(1)} \dots a_{n_1}^{(1)} \right)^T \\ \dots \\ \overline{x}_N = \left(p_1^{(N)} \dots a_{n_N}^{(N)} \right)^T \end{array} \right. \quad (2.12)$$

то можна записати систему у наступному вигляді (2.13):

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{x}_1 = P_1 \overline{x}_2, \quad \left| \left| \overline{x}_1 \right| \right| = 1 \\ \overline{x}_2 = P_2 \overline{x}_3, \quad \left| \left| \overline{x}_2 \right| \right| = 1 \\ \dots \\ \overline{x}_{N-1} = P_{N-1} \overline{x}_N, \quad \left| \left| \overline{x}_{N-1} \right| \right| = 1 \\ \overline{x}_N = P_N \overline{x}_1, \quad \left| \left| \overline{x}_N \right| \right| = 1 \end{array} \right. \quad (2.13)$$

А розв'язком цієї системи будуть нормовані власні вектори $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_N}$, що відповідають власному числу $\lambda = 1$ відповідних матриць $P_1 P_2 \dots P_N, P_2 P_3 \dots P_N P_1, \dots, P_N P_1 \dots P_{N-1}$.

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо морфологічну таблицю, що містить у собі оцінки альтернатив, які враховують взаємозв'язки параметрів системи. Ці значення використовуються в подальшому аналізі, виборі конфігурацій, які задовольняють певний критерій, тощо [7]. В нашому випадку отримані значення слугуватимуть в якості вхідних даних для другого етапу двохетапної процедури морфологічного аналізу.

2.3 Другий етап методу морфологічного аналізу

2.3.1 Матриця зв'язків альтернатив параметрів

Морфологічну таблицю другого етапу називають морфологічною таблицею стратегій і її параметри залежать від морфологічної таблиці сценаріїв, побудованій на першому етапі. Для того, щоб врахувати цей зв'язок необхідно побудувати матрицю зв'язків альтернатив параметрів, де зв'язок між параметрами є одностороннім. Таким чином, кожній парі альтернатив $a_{j_1}^{(i_1)}, a_{j_2}^{(i_2)}$ різних параметрів F_{i_1}, F_{i_2} таблиць першого та другого етапів МММА присвоюється оцінка $c_{i_1 j_1, i_2 j_2} \in [-1; 1]$ згідно з таблицею 2.5.

Таблиця 2.5 - Пояснення оцінок матриці зв'язків

Оцінка	Пояснення
-1	Альтернатива параметра стратегії є повністю неефективною під час вибору відповідної альтернативи параметра сценарію
(-1;0)	Вибір відповідної альтернативи параметра сценарію певною мірою зменшує ефективність альтернативи параметра стратегії
0	Ефективність альтернативи параметра стратегії ніяк не залежить від вибору відповідної альтернативи параметра сценарію
(0;1)	Вибір відповідної альтернативи параметра сценарію певною мірою збільшує ефективність альтернативи параметра стратегії
1	Альтернатива параметра стратегії є повністю ефективною під час вибору відповідної альтернативи параметра сценарію

Матриця заповнюється експертами за допомогою процедури, аналогічної до заповнення матриці взаємної узгодженості [9].

2.3.2 Результативність альтернатив параметрів морфологічної таблиці стратегій

Таким чином, на основі результатів розрахунку першого етапу морфологічного дослідження та матриці узгодженості необхідно розрахувати:

- оцінки результативності $R_j^{(i)}$ кожної з альтернатив параметрів МТ стратегій $a_j^{(i)}$, $i \in \overline{N+1, N+N'}$, $j \in \overline{1, n_i}$ в умовах ситуації, заданої МТ сценаріїв;
- оцінки результативності $R\{s_l\}$ конфігурацій s_l , породжених МТ стратегій в умовах ситуації заданої МТ сценаріїв.

Для визначення очікуваної результативності необхідно розглянути всі можливі конфігурації МТ сценаріїв, враховуючи результативність розглядуваної альтернативи в умовах кожної з конфігурацій.

Введемо величину умовної результативності $R(a_j^{(i)}|\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$ альтернативи $a_j^{(i)}$, $i \in \overline{N+1, N+N'}$ при конфігурації МТ сценаріїв $\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$ (2.14):

$$R(a_j^{(i)}|\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \frac{p_j'^{(i)} \prod_{m=1}^N (c_{m_{jm}ij} + 1)}{\sum_{k=1}^{n_i} p_k'^{(i)} \prod_{m=1}^N (c_{m_{jm}ij} + 1)} \quad (2.14)$$

де $p_j'^{(i)}$ – попередня оцінка результативності альтернативи $a_j^{(i)}$.

У разі якщо така попередня інформація про результативність альтернатив відсутня, приймається, що ці значення рівні для всіх альтернатив кожного з параметрів (2.15):

$$p_j^{(i)} = \frac{1}{n_i} \quad (2.15)$$

Значення умовної результативності можна обчислювати за методикою, наведеною в пункті 2.2.2.

Як ефективність прийняття рішення в умовах невизначеності значення очікуваної результативності альтернативи $a_j^{(i)}$, $i \in \overline{N+1, N+N'}$ можна виразити таким співвідношенням (2.16):

$$R_j^{(i)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) \quad (2.16)$$

де $P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$ - ймовірність конфігурації, яка визначається на першому етапі дослідження.

Отримані оцінки результативності зручно використовувати для ранжування за ефективністю альтернатив параметрів МТ стратегій.

Альтернативна оцінка $W_j^{(i)}$ результативності альтернатив МТ стратегій полягає у визначенні відстані до гіпотетичної «ідеальної» стратегії, в якій для кожної конфігурації МТ сценаріїв обираються найсумісніші альтернативи параметрів МТ стратегій (2.17):

$$\begin{aligned}
W_j^{(i)} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} (R(a_{\max_i}^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) - \\
&\quad - R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \\
&= R_{\max}^{(i)} - R_j^{(i)}
\end{aligned} \tag{2.17}$$

де $a_{\max_i}^{(i)}$ - альтернатива, при якій $R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$ має максимальне значення.

$R_{\max}^{(i)} = R(a_{\max_i}^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$ - результативність гіпотетичної «ідеальної» стратегії, якій для кожної можливої конфігурації МТ **сценаріїв** обирається найрезультативніша альтернатива.

Величина $W_j^{(i)}$ показує очікуване зменшення результативності альтернативи $a_j^{(i)}$ з урахуванням можливості появи несприятливих конфігурацій МТ сценаріїв. Менші значення для альтернатив означають, що ці альтернативи ближчі до ідеального результату, і у більшості конфігурацій МТ першого етапу будуть більш ефективними.

2.3.3 Результативність конфігурацій морфологічної таблиці стратегій

У найпростішому випадку, коли параметри стратегії не пов'язані між собою, оцінити результативність конфігурації МТ стратегій $s = \{a_{j_{N+1}}^{(N+1)}, a_{j_{N+2}}^{(N+2)}, a_{j_{N+3}}^{(N+3)}, \dots, a_{j_{N+N'}}^{(N+N')}\}$, за умов повної ситуації МТ сценаріїв

можна способом, аналогічним до оцінювання результативності окремих її параметрів (2.18):

$$R\{s\} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} \sum_{i=N+1}^{N+N'} R(a_{j_i}^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) \quad (2.18)$$

У випадку, коли параметри стратегії пов'язані між собою, потрібно перерахувати оцінки результативності альтернатив параметрів МТ стратегій за допомогою процедури, аналогічної першому етапу МММА, використовуючи отримані значення результативності як початкові наближення. Зазначимо, що подання результатів у вигляді значень ефективності окремих альтернатив параметрів є більш інформативним, оскільки кількість конфігурацій МТ стратегій збільшується експоненційно збільшенням кількості параметрів. Тому оцінки конфігурацій МТ стратегій в цілому доцільно використовувати за необхідності порівняти або проранжувати невеликий набір конфігурацій.

2.4 Врахування параметру часу

Очевидно, що з часом змінюється об'єкт дослідження, його стан, середовище навколо нього. Результати, отримані в конкретний момент часу в минулому не можуть гарантовано бути дійсними в майбутньому, тому важливим етапом процесу передбачення є врахування можливих змін об'єкта з часом.

2.4.1 Час як окремий характеристичний параметр

Одним із запропонованих методів врахування змін об'єкта з часом є внесення параметру часу як окремого характеристичного параметра до МТ як показано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Морфологічна таблиця з окремим характеристичним параметром часу

T	F_1	F_2	...	F_N
t_1	$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
t_2	$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...
t_{n_T}	$a_{n_1}^{(1)}$	$a_{n_2}^{(2)}$	...	$a_{n_N}^{(N)}$

Параметри $t_j, j \in \overline{1, n_T}$ це параметри часу, які відображають конкретні фіксовані моменти часу в майбутньому, при чому $t_1 < t_2 < \dots < t_{n_T}$. Задача вирішується шляхом фіксування кожного окремого значення параметра T : t_1, t_2, \dots, t_{n_T} .

Але такий підхід є не дуже зручним, адже очевидно, що оцінюючи стан об'єкта в деякий момент часу в майбутньому, кожен з експертів підсвідомо аналізує певні події і тенденції, які можуть статися і вплинути на поведінку об'єкта в конкретний момент часу t_i . Оскільки ці події та тенденції не вказані явно, то кожен з експертів, з огляду на свій досвід в

минулому та інтуїцію, підставляє свій набір можливих подій, що може некоректно відобразитися на оцінках і відповідно на результатах ММА. Окрім того, якщо відбудеться певна неочікувана подія, котра сильно впливає на ймовірності альтернатив, то всі експертні оцінки стосовно альтернатив в наступні моменти часу стають застарілими і не актуальними. Хоча метод є досить простим в математичному плані та не потребує додаткових розрахунків, для кожного моменту часу проводиться окрема оцінка накопичених змін, що досить стрімко збільшує кількість оцінок і одночасно зменшує їх точність.

2.4.2 Постановка задачі

Для оптимізації методу врахування часу в ММА та зручного обліку змін пропонується розглядати час не як окремий параметр, а як ряд чинників, які впливають на об'єкт. Отже, як було розглянуто в розділі 2.3.3.1, на зміну об'єкта в часі впливають такі чинники як:

- події, або миттєві зміни ймовірностей альтернатив параметрів;
- тенденції, або неперервні зміни ймовірностей альтернатив параметрів.

Тоді можемо сформулювати задачу у математичному вигляді.

Дано:

- МТ, що містить множину характеристичних параметрів $F = \{F_i \mid i \in \overline{1, N}\}$, кожний параметр F_i описується множиною альтернатив $A_i = \{a_j^{(i)} \mid j \in \overline{1, n_1}\}$
- чинники, що впливають на об'єкт з часом, а саме: події та тенденції

Необхідно:

- визначити ймовірності $p_j^{(i)}$ настання кожної з альтернатив $a_j^{(i)}$ у заданий момент часу t з урахуванням подій і тенденцій, що вплинули на об'єкт.

2.4.3 Вплив подій на об'єкт дослідження

Нехай $E = \{E_k \mid k \in \overline{1, n_E}\}$ - це множина всіх подій, які впливають на досліджуваний об'єкт в часі. Очевидно, що кількість та характер цих подій напряму залежить від обраного проміжку часу, на якому вони розглядаються і досвіду експертів. Досить часто для формування множини $E = \{E_k \mid k \in \overline{1, n_E}\}$ на етапі експертного оцінювання застосовується метод мозкового штурму або інший метод, який дозволяє найбільш точно та повно спрогнозувати множину подій, що може вплинути на об'єкт в майбутньому.

Позначимо вплив деякої події E_k на альтернативу $a_j^{(i)}$ як σ_{kij} . Значення коефіцієнта σ_{kij} визначається експертами за допомогою таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Шкала оцінювання впливу подій

Степінь впливу події E_k на ймовірність альтернативи параметра $a_j^{(i)}$ МТ				
Номер рівня	Якісна характеристика рівня впливу	Значення σ_{kij} в загальному вигляді	Значення σ_{kij} при $q = \sqrt{2}$	Значення σ_{kij} при $q = 2$
1	Дуже сильний негативний	q^{-4}	0.25	0.063
2	Сильний негативний	q^{-3}	0.345	0.125
3	Помірно негативний	q^{-2}	0.5	0.25
4	Слабкий негативний	q^{-1}	0.707	0.5
5	Відсутній	1	1	1
6	Слабкий позитивний	q	1.414	2
7	Помірно позитивний	q^2	2	4
8	Сильно позитивний	q^3	2.828	8
9	Дуже сильно позитивний	q^4	4	16

Значення параметра q обираються експертами враховуючи ступінь впливу події E_k на альтернативу $a_j^{(i)}$, при чому чим більше значення q тим більше подія E_k впливає на альтернативу $a_j^{(i)}$.

Тоді, ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи вплив події E_k можна обраховувати за наступною формулою (2.18):

$$p_{j_i}^{''(i)} = \frac{\sigma_{kij_i} p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \sigma_{kij} p_j^{''(i)}} \quad (2.18)$$

де $p_{j_i}'^{(i)}$ - незалежна ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ для вихідної морфологічної таблиці.

А вплив всієї множини подій E на ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ можна отримати за наступною формулою (2.19):

$$p_{j_i}^{''(i)} = \frac{\prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij_i} p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left(\prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij} p_j^{''(i)} \right)} \quad (2.19)$$

Таким чином, отримані значення ймовірностей для кожної з альтернатив $a_j^{(i)}$ використовують як вхідні дані в процедурі МММА.

2.4.4 Вплив тенденцій на об'єкт дослідження

Нехай $T = \{T_k \mid k \in \overline{1, n_T}\}$ - множина всіх тенденцій, які впливають на досліджуваний об'єкт в часі. В протипагу до подій, які впливають на об'єкт точково, тобто одноразово в конкретний момент часу, вплив тенденцій неперервний, тобто в певний період часу тенденції постійно змінюють об'єкт деякою мірою.

Позначимо вплив деякої тенденції T_k на альтернативу $a_j^{(i)}$ як коефіцієнт $\tau_{kij}(t)$. В роботі [1] для опису впливу тенденцій на об'єкт

дослідження розглядається лінійна залежність $\tau_{kij}(t)$ від часу t . Оскільки більшість процесів у природі досить складні і носять нелінійний характер, опису тенденцій в лінійному вигляді, як наведено в роботі [1], не завжди достатньо для адекватного представлення змін об'єкта з часом. Тому в своїй роботі пропоную використовувати принципово новий підхід до визначення залежності тенденцій від часу, що носить логарифмічний характер і на відміну від підходу, розглянутого в роботі [1], дозволяє більш точно аналізувати вплив тенденцій на початкові ймовірності альтернатив параметрів морфологічної таблиці. Тому будемо розглядати визначення $\tau_{kij}(t)$ через наступну формулу (2.20):

$$\tau_{kij}(t) = \ln\left(\frac{e^{\tau_{kij}^{t_{\text{кін}}}} - e}{t_{\text{кін}}}\right) t + e \quad (2.20)$$

де $\tau_{kij}^{t_{\text{кін}}}$ - значення впливу тенденції в кінцевий момент часу $t_{\text{кін}}$

$\tau_{kij}^{t_0}$ - значення впливу тенденції в початковий момент часу t_0 причому, $\tau_{kij}^{t_0}$ та $\tau_{kij}^{t_{\text{кін}}}$ розраховуються так само як і коефіцієнт впливу подій на об'єкт дослідження, експертним шляхом за допомогою таблиці 2.

Тоді, ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи тенденції T_k в певний момент часу t можна обраховувати за наступною формулою (2.21):

$$p_{j_i}^{''(i)}(t) = \frac{\tau_{kij_i}(t) p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \tau_{kij}(t) p_j'^{(i)}} \quad (2.21)$$

А вплив всієї множини тенденцій T_k на ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ в певний момент часу t можна отримати за формулою (2.22):

$$p_{j_i}^{''(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij_i}(t) p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} (\prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t) p_j'^{(i)})} \quad (2.22)$$

Звичайно, що об'єкт дослідження не знаходиться в ізольованому просторі і до певного моменту часу на нього може вплинути декілька подій і тенденцій. Тому, для того, щоб обчислити стан об'єкта в деякий конкретний момент часу t , необхідно врахувати всі ті події, які відбулися до моменту t і мали деякий вплив на об'єкт дослідження, та усі тенденції T , що несуть безпосередній вплив на об'єкт в момент часу t . Тоді, ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи тенденції T_k та події E_k в певний момент часу t можна обрахувати за наступною формулою (2.23):

$$p_{j_i}^{''(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_{E^*}} \sigma_{kij_i} \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij_i}(t) p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} (\prod_{k=1}^{n_{E^*}} \sigma_{kij} \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t) p_j'^{(i)})} \quad (2.23)$$

Висновки до розділу 2

Отже, в розділі 2 було детально описано процедуру експертного оцінювання та обох етапів двохетапного модифікованого методу

морфологічного аналізу. Також було розглянуто методи врахування параметру часу:

- як окремого характеристичного параметра МТ;
- у вигляді подій, що впливають на досліджуваний об'єкт миттєво, та тенденцій, що неперервно впливають на об'єкт протягом певного періоду.

Більшість процесів у природі досить складні і носять нелінійний характер, тому опису тенденцій у лінійному вигляді, як наведено в [1], не завжди достатньо для адекватного представлення змін об'єкта з часом. У даній магістерській дисертації вперше пропонується використання логарифмічної залежності тенденцій від часу, що дозволяє більш точно аналізувати вплив тенденцій на початкові ймовірності альтернатив параметрів морфологічної таблиці.

РОЗДІЛ 3 СТАРТАП

3.1 Опис ідеї проекту

Подамо у вигляді таблиці (таблиця 3.1) зміст ідеї програмного продукту, що реалізовано в рамках магістерської дисертації, можливі напрямки застосування продукту та основні вигоди, що може отримати його користувач за кожним напрямком застосування, таким чином даючи цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Програмний продукт MDSS - це розробка модифікованого методу морфологічного аналізу в програмному вигляді на базі найновіших технологій, що враховує зміни об'єкта в часі, таким чином даючи користувачу більш повну картину проблеми, що	технологічне передбачення	отримання результату в рамках технологічного передбачення
	СППР за наявності декількох чинників що впливають на об'єкт	прийняття комплексного рішення щодо досліджуваного об'єкта

Продовження таблиці 3.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
розглядається і продукуючи більш точний та математично обґрунтований результат у вигляді найкращого рішення, яке варто прийняти ОПР.	зміна об'єкта в часі	отримання математично обґрунтованого результату, що враховує не лише стан об'єкта на даний момент, але й його зміни в майбутньому, що призводить до більш точного результату
	формування стратегії діяльності підприємства	прийняття найбільш вигідного для підприємства рішення щодо стратегії його діяльності

Таким чином, можна коротко охарактеризувати основну ідею стартап проекту, напрямки його застосування та основні вигоди для користувача.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проаналізуємо технологічну здійсненність ідеї стартап проекту, отримані результати наведемо в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	МММА з врахуванням змін об'єкта в часі	Мова програмування: javascript стандарт es6	Наявні	Доступні
2	ui	jsx, less	Наявні	Доступні
3	фреймворк	reactjs	Наявні	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Javascript				

Як видно з аналізу ідея є технологічно здійсненною.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	\$1250000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15.5%

Отже, аналізуючи результати, наведені в таблиці 3.4 можемо зробити висновок, що ринок є рентабельним для входу.

Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	потреба в СППР, що дозволяє враховувати зміни об'єкта в часі	- менеджери - керівники відділу - маркетологи - аналітики - державні службовці	- Вартість - Легкість користування - гнучкість - врахування змін об'єкта з часом	- Якість - Надійність - простота та інтуїтивна зрозумілість інтерфейсу - висока точність обчислень

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиця 3.5 та таблиця 3.6).

Таблиця 3.5 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	вихід на ринок нових конкурентів	розробка нових конкурентоспроможних можливостей, що здатні задовольнити потреби клієнтів краще за конкурентів
2	Збут	Зменшення кількості шляхів збуту (посередників)	пошук нових шляхів збуту
3	Економічний	Збільшення податків	Збільшення вартості продукції

Таблиця 3.6 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	соціально - демографічний	зростання рівня доходів і зайнятості населення	Збільшення попиту і обсягів продажу продукції та як наслідок - збільшення прибутку
2	Економічний	Зниження податкового тиску	зменшення вартості продукції, як наслідок збільшення попиту та обсягів продажу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - монополістична конкуренція	відносно велика кількість невеликих виробників пропонують схожу, але не ідентичну продукцію (СППР)	Розширення методів, що використовуються в СППР
2. За рівнем конкурентної боротьби - глобальний	Клієнтами є компанії з багатьох країн	локалізація мови
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	в межах різних галузей	-
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	між товарами одного виду	-

Продовження таблиці 3.7

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Проводиться за допомогою вдосконалення якості продукції, інновацій	-
6. За інтенсивністю - не марочна	роль торгової марки незначна	-

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 3.7, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, наведених у таблиці 3.2, вимог споживачів до товару, наведених у таблиці 3.4, та факторів маркетингового середовища, наведених у таблиці 3.5 та таблиці 3.6, визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Для більшості клієнтів ціна має пріоритетне значення

Продовження таблиці 3.8

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
2	Функціонал	Функціонал має відповідати потребам клієнта
3	Простота у використанні	Важливість зручного та інтуїтивно-зрозумілого користування
4	Багатоплатформеність	Важливо, щоб користувачі могли користуватися продуктом за допомогою будь-яких девайсів

За визначеними у таблиці 3.8 факторами конкурентоспроможності проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з MDSS						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	13						+	
2	Функціонал	20		+					
3	Простота у використанні	18					+		
4	Багатоплатформеність	17	+						

Далі необхідно аналізувати всі можливі ситуації та стратегії, для того, щоб зробити стартап якомога більш ефективним та адекватно оцінити його.

Складемо SWOT-аналіз (матрицю аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (таблиця 3.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, наведених у таблиці 3.9. Це дає нам можливість виявити та структурувати зв'язки між можливостями стартап-проекту та реальними проблемами, що в нього існують, з'ясувати перспективи подальшої діяльності та розвитку стартап-проєкту, оцінити показники рентабельності та прорахувати можливі стратегії на майбутнє.

Таблиця 3.10 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1) висока функціональність 2) простота у використанні 3) Можливість роботи з усіма платформами (виндовс, линукс, андроид, иос) 4) інтуїтивно зрозумілий інтерфейс	Слабкі сторони: 1) відсутність локалізації для різних мов 2) можливість роботи лише за наявності мережі інтернет
Можливості: розповсюдження продукції на ринку	Загрози: зниження доходів потенційних споживачів

На основі SWOT-аналізу, представленого в таблиці 3.10 розробимо альтернативи ринкової поведінки та проаналізуємо їх з точки зору строків

та ймовірності отримання ресурсів. Отримані результати зведемо до спільної таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розширення функціоналу	висока	9 - 12 місяців
2	Локалізація для різних мов	середня	12 - 18 місяців

Для того, щоб зайняти правильну нішу на ринку, необхідно визначити стратегію охоплення ринку, одним з етапів чого є вибір цільових груп потенційних споживачів, які наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Компанії (українські та міжнародні)	Висока	Високий	Середня	Складна

Продовження таблиці 3.12

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивні сть конкуренц ії в сегменті	Простот а входу у сегмент
2	Приватні підприємства міського та міжнародного рівня	Висока	Високий	Середня	Складна
3	Приватні підприємства, обласного рівня	Середня	Середній	Середня	Середня
4	Підприємства регіонального характеру	Середня	Низький	Низька	Середня
5	ФОП	Низька	Низький	Низька	Проста
Які цільові групи обрано: 1, 2, 3					

Визначимо базову стратегію розвитку стартап-проекту (таблиця 3.13)

Таблиця 3.13 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	диференціація	Визначити потреби кожної з цільових груп потенційних клієнтів, розробити відповідно до них стратегії приваблення клієнтів та маркетингової комунікації/генерувати маркетингові ноу-хау, здійснювати продуктові новації	<ul style="list-style-type: none"> - інноваційність продукту - багатоплатформенність додатку - конкурентна цінова політика - орієнтованість на кінцевого споживача 	Стратегія диференціації

Визначимо базову стратегію конкурентної поведінки (таблиця 3.14).

Таблиця 3.14 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	так	Шукати нових	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Стратегія позиціонування - це одна з найважливіших стратегій, яку необхідно прийняти стартап-проекту, адже вона відповідає за маркетингове забезпечення стартап-проектів бажаного місця на ринку і у свідомості потенційних покупців. Позиція стартап-проекту показує чим він унікальний, чим відрізняється від конкурентів, чим корисний споживачу.

Визначимо стратегію позиціонування стартап-проекту та отримані результати відобразимо в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	<ul style="list-style-type: none"> - якість - надійність -функціональність - простота у використанні - точність - Підтримка 	Стратегія диференціації	Позиціонування на позитивних особливостях технології;	<ul style="list-style-type: none"> - точність - надійність - якість

Розробимо маркетингову програму стартап-проекту, для чого першим кроком сформулюємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару у таблицю 3.16.

Таблиця 3.16 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/ п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Надійність	Гарна реалізація алгоритмів	- завдяки високій точності обчислень та чітко структурованій кодовій базі, система виключає можливість помилок при обчисленнях
2	Якість	завдяки тому, що СППР враховує зміни об'єкта в часі, якість отриманого результату збільшується в рази	- більша кількість факторів, що впливають на об'єкт дослідження, які враховуються в МММА дають більш об'єктивний і оптимальний результат
3	Простота у використанні	Простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який з першого разу дає зрозуміти як ним користуватися	- немає потреби у читанні інструкції, адже інтерфейс інтуїтивно зрозумілий - немає необхідності у специфічних знаннях, система самостійно підказує як нею користуватися

Розробимо тривіальну маркетингову модель товару на базі трьох рівнів і представимо результат у таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Зручна і функціональна система підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Якість	Нм	Вр/Тх /Тл
	2. Точність	Нм	Вр/Тх
	3. Функціональність	Нм	Вр/Тх /Тл
	4. Багатоплатформенність	Нм	Е
	5. Дизайн	М	Тл/Е
	Якість: результати аналізу точні і можливі до реалізації в реальному житті		
	Пакування: відсутнє (онлайн дистрибуція)		
	Марка: MDSS		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: відсутнє		
	Після продажу: персональна підтримка в обслуговуванні за додаткову платню		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент.			

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, що передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 3.18).

Таблиця 3.18 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/ п	Рівень цін на товари-замі ники	Рівень цін на товари-анал оги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	30\$	20-40\$	Високий	15\$

Визначимо оптимальну систему збуту (таблиця 3.19).

Таблиця 3.19 - Формування системи збуту

№ п/ п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	особи, яким доводиться приймати рішення	маркетинг	канал нульового рівня (послугу надаються напрямую)	онлайн дистрибуція

Визначимо концепцію маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 3.20).

Таблиця 3.20 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
особи, яким доводиться приймати рішення	SMM Direct Mail Зовнішня реклама	Інноваційність. Позиція на основі порівняння фірми з товарами конкурентів ;	Створення відчуття надійності та якості · збільшення чистого прибутку та рентабельності фірми; · збільшення потоків покупців та обсягів продажу; · стабілізація обсягів продажу в період зменшення попиту та загального спаду ділової активності.	MDSS допоможе прийняти правильне рішення

Таким чином, ми сформували ринкову (маркетингову) програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу 3

Розроблене рішення по побудові СППР на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу з урахуванням змін об'єкта з часом практично конвертується в програмний продукт з залученням експертів. Програмний продукт характеризується масштабованістю, тобто можливістю стрімкого росту і технологічністю.

Даний стартап дозволяє вирішувати проблеми технологічного передбачення рішень стосовно деякої проблеми на базі кардинально нового методу, що дозволяє якомога більш точно моделювати та оцінювати зміни досліджуваного об'єкта в часі, за рахунок наукової новизни, представленої в даній магістерській дисертації.

Наразі ніша, в якій знаходиться об'єкт представленого в розділі 3 стартап проекту, має малу кількість конкурентів та велику кількість платоспроможних клієнтів. Таким чином можна зробити висновок, що подальша реалізація проекту є доцільною та фінансово обґрунтованою.

РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ “MDSS”

Як вже було розглянуто в розділі 1, більшість існуючих СППР побудовані на базі MAI без врахування змін об’єкта в часі, тому, створене рішення MDSS є універсальним у своєму роді і не має аналогів по можливостях точного прогнозу та використаної математичної бази.

4.1 Обґрунтування вибору технологій

В якості основної мови програмування було обрано javascript - динамічну мову програмування, яка дозволяє реалізовувати складні скрипти на веб-сторінках. На сьогоднішній день популярність цієї мови програмування дуже висока і з кожним днем стрімко росте вгору, адже її можливості вражають. Кожен браузер має вбудований інтерпритатор, котрий дозволяє йому виконувати javascript скрипти на веб-сторінках, тому розробник може писати код на javascript навіть у звичайному блокноті. Проте в цьому немає необхідності, адже на сьогоднішній день існує безліч редакторів коду та навіть IDE (Integrated Development Environment), що мають велику кількість вже інстальованих плагінів здатних значно полегшити роботу програміста та підвищити швидкість написання коду. Також більшість таких редакторів мають вбудований менеджер пакетів, що дозволяє швидко знаходити та встановлювати необхідні модулі та надбудови для редактора. Однією з найважливіших особливостей

редактора є підсвітка синтаксису та автодоповнення, що дозволяє розробнику швидше орієнтуватися в коді та писати його.

Мова JavaScript на сьогоднішній день є настільки потужною та широко використовуваною, що наразі існує безліч модулів, бібліотек та фреймворків побудованих на її основі, і їх кількість невпинно росте, породжуються нові фреймворки, а існуючі версії удосконалюються та переписуються, підлаштовуючись під нові стандарти та потреби користувачів.

В програмній реалізації СППР використовується останній стандарт EcmaScript 8 та його нові можливості. Для написання коду використовується текстовий редактор Visual Studio Code від компанії Microsoft.

4.2 Практичний приклад роботи СППР

В якості прикладу, на якому представлено роботу створеної СППР, розглянемо тему захворюваності населення. Побудуємо морфологічну таблицю зовнішніх критеріїв (таблиця 4.1) для першого етапу двохетапного МММА.

Таблиця 4.1 - Морфологічна таблиця захворюваності населення

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
Початкова	Фізичні	Діти	Жіноча	Епідеміологічна	Зима	Відсутній
Період розпалу	Хімічні	Підлітки	Чоловіча	Загальна	Весна	Обмежений

Продовження таблиці 4.1

Одужання	Біологічні	Дорослі		Місцева	Літо	Наявний
Ремісія	Психо-соціальні	Люди похилого віку		Хвороби розвитку	Осінь	
Ускладнення				Травми		
Рецидив						
Смерть						

Побудуємо морфологічну таблицю внутрішніх критеріїв (таблиця 4.2) для другого етапу двохетапного МММА.

Таблиця 4.2 - Морфологічна таблиця боротьби із захворюваністю

Підвищення імунітету	Зміна стилю життя	Метод боротьби
Вітамінізація	регулярні фізичні вправи	Профілактика
Вакцинація	здоровий сон (мінімум 8 годин)	Лікування
Загартовування	відмова від шкідливих звичок	Полегшення симптомів
	повноцінне харчування	Хірургічне втручання

Проведемо експертне оцінювання основних факторів впливу на захворюваність населення методом безпосереднього експертного оцінювання, скориставшись шкалою Міллера. Далі пронормуємо отримані оцінки альтернатив для кожного параметра і отримаємо таблицю експертних оцінок захворюваності (таблиця 4.3) та методів боротьби з нею (таблиця 4.4).

Таблиця 4.3 - Експертні оцінки для МТ захворюваності

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
0.3	0.1	0.4	0.65	0.35	0.35	0.1
0.3	0.5	0.25	0.35	0.3	0.3	0.3
0.2	0.2	0.1		0.25	0.1	0.6
0.05	0.2	0.25		0.1	0.25	
0.1						
0.04						
0.01						

Таблиця 4.4 - Експертні оцінки для МТ методів боротьби

Підвищення імунітету	Зміна стилю життя	Метод боротьби
0.4	0.25	0.4
0.45	0.2	0.35
0.15	0.4	0.15
	0.15	0.1

4.2.1 Перший етап двохетапного МММА

Визначимо взаємозв'язки між основними факторами впливу на захворюваність. Побудуємо матрицю взаємозв'язків альтернатив параметрів та для більшої зручності представимо її для кожного з параметрів окремо у вигляді таблиці:

- для параметру “Стадія хвороби” — таблиця 4.5;
- для параметру “Фактори” — таблиця 4.6;
- для параметру “Вікова категорія” — таблиця 4.7;
- для параметру “Стать” — таблиця 4.8;
- для параметру “Група хвороб” — таблиця 4.9;
- для параметру “Період року” — таблиця 4.10

Таблиця 4.5 - Взаємозв'язки альтернатив параметра “Стадія хвороби”

		Стадія хвороби						
		Початков а	Період розпалу	Одужання	Ремісія	Ускладне ння	Рецид ив	Смер ть
Фактори	Фізичні							
	Хімічні							
	Біологічні							
	Психо-соціальні							-1
Вікова категорія	Діти	0.1	0.2			0.1		
	Підлітки	0.2	0.2			0.1	0.15	
	Дорослі	0.3			0.15			0.01
	Люди похилого віку				0.4	0.3		0.25
Стать	Жіноча			0.1				
	Чоловіча		0.2		0.4	0.2	0.3	
Група хвороб	Епідеміологічна		0.2	0.1		0.4	0.1	0.01
	Загальна	0		0.1	0.15	0.1	0.1	-0.2
	Місцева			0.1		0.1		-0.1
	Хвороби розвитку			0.05	0.1	0.1		0.01
	Травми			0.15	0.1	0.1	-0.1	0.02
Період року	Зима		0.1		0.1	0.3	0.2	
	Весна				0.05		0.1	
	Літо							
	Осінь	0.1						
Доступ до ліків	Відсутній		0.1	-0.2	0.2	0.5	0.3	0.3
	Обмежений					0.3	0.2	0.1
	Наявний	0.1		0.7				

Таблиця 4.6 - Взаємозв'язки альтернатив параметра "Фактори"

		Фактори			
		Фізичні	Хімічні	Біологічні	Психо-соціальні
Фактори	Фізичні				
	Хімічні				
	Біологічні				
	Психо-соціальні				
Вікова категорія	Діти	0.25	0.2	0.1	0.2
	Підлітки	0.2		0.2	0.3
	Дорослі	0.05	0.1		0.1
	Люди похилого віку	0.4		0.5	
Стать	Жіноча				0.1
	Чоловіча				
Група хвороб	Епідеміологічна		0.8		
	Загальна	0.2	0.1	0.3	0.1
	Місцева	0.4	0.1	0.1	
	Хвороби розвитку	0.4	0.1	0.4	0.5
	Травми	0.95	0.2	0.1	0.1
Період року	Зима	0.4	0.1		
	Весна				
	Літо	0.3			
	Осінь				
Доступ до ліків	Відсутній				
	Обмежений				
	Наявний				

Таблиця 4.7 - Взаємозв'язки альтернатив параметра “Вікова категорія”

		Вікова категорія			
		Діти	Підлітки	Дорослі	Люди похилого віку
Фактори	Фізичні	0.25	0.2	0.05	0.4
	Хімічні	0.2		0.1	
	Біологічні	0.1	0.2		0.5
	Психо-соціальні	0.2	0.3	0.1	
Вікова категорія	Діти				
	Підлітки				
	Дорослі				
	Люди похилого віку				
Стать	Жіноча				0.1
	Чоловіча				
Група хвороб	Епідеміологічна	0.3	0.3	0.2	0.1
	Загальна				0.1
	Місцева				
	Хвороби розвитку	0.2			0.1
	Травми	0.3	0.4	0.1	0.3
Період року	Зима				
	Весна				
	Літо				
	Осінь				
Доступ до ліків	Відсутній				
	Обмежений				
	Наявний				

Таблиця 4.8 - Взаємозв'язки альтернатив параметра "Стать"

		Стать	
		Жіноча	Чоловіча
Фактори	Фізичні		
	Хімічні		
	Біологічні		
	Психо-соціальні	0.1	
Вікова категорія	Діти		
	Підлітки		
	Дорослі		
	Люди похилого віку	0.1	
Стать	Жіноча		
	Чоловіча		
Група хвороб	Епідеміологічна		
	Загальна		
	Місцева		
	Хвороби розвитку		
	Травми		
Період року	Зима		
	Весна		
	Літо		
	Осінь		
Доступ до ліків	Відсутній		
	Обмежений		
	Наявний		

Таблиця 4.9 - Взаємозв'язки альтернатив параметра "Група хвороб"

		Група хвороб				
		Епідеміологіч на	Загальна	Місцева	Хвороби розвитку	Травми
Фактори	Фізичні		0.2	0.4	0.4	0.95
	Хімічні	0.8	0.1	0.1	0.1	0.2
	Біологічні		0.3	0.1	0.4	0.1
	Психо-соціаль ьні		0.1		0.5	0.1
Вікова категорія	Діти	0.3			0.2	0.3
	Підлітки	0.3				0.4
	Дорослі	0.2				0.1
	Люди похилого віку	0.1	0.1		0.1	0.3
Стать	Жіноча					
	Чоловіча					
Група хвороб	Епідеміологіч на					
	Загальна					
	Місцева					
	Хвороби розвитку					
	Травми					
Період року	Зима	0.7	0.2	0.1		0.4
	Весна	0.1				
	Літо					0.3
	Осінь		0.3			
Доступ до ліків	Відсутній					
	Обмежений					
	Наявний					

Таблиця 4.10 - Взаємозв'язки альтернатив параметра "Період року"

		Період року			
		Зима	Весна	Літо	Осінь
Фактори	Фізичні	0.4		0.3	
	Хімічні	0.1			
	Біологічні				
	Психо-соціальні				
Вікова категорія	Діти				
	Підлітки				
	Дорослі				
	Люди похилого віку				
Стать	Жіноча				
	Чоловіча				
Група хвороб	Епідеміологічна	0.7	0.1		
	Загальна	0.2			0.3
	Місцева	0.1			
	Хвороби розвитку				
	Травми	0.4		0.3	
Період року	Зима				
	Весна				
	Літо				
	Осінь				
Доступ до ліків	Відсутній				
	Обмежений				
	Наявний				

Базуючись на експертних оцінках наведених в таблиці 4.3 та таблицях 4.5 - 4.10 побудуємо таблицю конфігурацій та для зручності відображення покажемо лише перші декілька рядків таблиці та розіб'ємо її на дві окремі таблиці:

- таблицю конфігурацій з ненормованими умовними ймовірностями конфігурацій (таблиця 4.11);
- таблицю конфігурацій з нормованими умовними ймовірностями конфігурацій (таблиця 4.12).

Таблиця 4.11 - Таблиця конфігурацій з ненормованими умовними ймовірностями конфігурацій

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	C	$P^{(1)}$	$P^{(2)}$	$P^{(3)}$	$P^{(4)}$	$P^{(5)}$	$P^{(6)}$	$P^{(7)}$
1	1	1	1	1	1	1	4.2542 5	0.001355	0.004065	0.001016234	0.00062537	0.001161410	0.00116141	0.004064936
1	1	1	1	1	1	2	4.2542 5	0.004065	0.0121948	0.003048702	0.00187612	0.003484231	0.00348423	0.004064936
1	1	1	1	1	1	3	4.6796 75	0.0089429	0.0268286	0.006707144	0.00412747	0.007665308	0.00766531	0.004471429
1	1	1	1	1	2	1	1.9662 5	0.0005368	0.0016104	0.00040259	0.00024775	0.000460102	0.00053679	0.001610359
1	1	1	1	1	2	2	1.9662 5	0.0016104	0.0048311	0.001207769	0.00074324	0.001380307	0.00161036	0.001610359
1	1	1	1	1	2	3	2.1628 75	0.0035428	0.0106284	0.002657092	0.00163513	0.003036676	0.00354279	0.001771395
1	1	1	1	1	3	1	2.3237 5	0.0002114 5	0.0006344	0.000158596	0.0000976	0.000181252	0.00063438	0.000634384
1	1	1	1	1	3	2	2.3237 5	0.0006344	0.0019032	0.000475788	0.0002928	0.000543757	0.00190315	0.000634384
1	1	1	1	1	3	3	2.5561 25	0.0013956	0.0041869	0.001046733	0.00064414	0.001196266	0.00418693	0.000697822
1	1	1	1	1	4	1	1.9662 5	0.0004473	0.001342	0.000335491	0.00020646	0.000383419	0.00053679	0.001341966
1	1	1	1	1	4	2	1.9662 5	0.0013412	0.0040259	0.001006474	0.00061937	0.001150256	0.00161036	0.001341966
1	1	1	1	1	4	3	2.1628 75	0.0029523	0.008857	0.002214243	0.00136261	0.002530564	0.00354279	0.001476162

Продовження таблиці 4.11

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	C	$P^{(1)}$	$P^{(2)}$	$P^{(3)}$	$P^{(4)}$	$P^{(5)}$	$P^{(6)}$	$P^{(7)}$
1	1	1	1	2	1	1	2.772	0.000504504	0.001513512	0.000378378	0.000232848	0.000756756	0.000432432	0.001513512
1	1	1	1	2	1	2	2.772	0.001513512	0.004540536	0.001135134	0.000698544	0.002270268	0.001297296	0.001513512
1	1	1	1	2	1	3	3.0492	0.0033297264	0.0099891792	0.0024972948	0.0015367968	0.0049945896	0.0028540512	0.001664863
1	1	1	1	2	2	1	1.65	0.0002574	0.0007722	0.00019305	0.0001188	0.0003861	0.0002574	0.0007722
1	1	1	1	2	2	2	1.815	0.0007722	0.0023166	0.00057915	0.0003564	0.0011583	0.0007722	0.0007722
1	1	1	1	2	2	3	2.145	0.00169884	0.00509652	0.00127413	0.00078408	0.00254826	0.00169884	0.00084942
1	1	1	1	2	3	1	2.145	0.00011154	0.00033462	0.000083655	0.00005148	0.00016731	0.00033462	0.00033462

Таблиця 4.12 - Таблиця конфігурацій з нормованими умовними ймовірностями конфігурацій

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	C	$P^{(1)}$	$P^{(2)}$	$P^{(3)}$	$P^{(4)}$	$P^{(5)}$	$P^{(6)}$	$P^{(7)}$
1	1	1	1	1	1	1	4.25425	0.0005465	0.0010732	0.000316125	0.00021265	0.000284094	0.00029423	0.001378193
1	1	1	1	1	1	2	4.25425	0.0016394	0.0032195	0.000948375	0.00063795	0.000852282	0.0008827465319938805	0.001432597
1	1	1	1	1	1	3	4.679675	0.0036067	0.0070828	0.002086425	0.00140348	0.001875020	0.00194204	0.001437197
1	1	1	1	1	2	1	1.96625	0.0002165	0.0004251	0.000125236	0.00008424	0.000112546	0.00021686	0.000545983
1	1	1	1	1	2	2	1.96625	0.0006495	0.0012754	0.000375707	0.00025273	0.000337638	0.00065059	0.000567535
1	1	1	1	1	2	3	2.162875	0.0014288	0.0028059	0.000826555	0.00055600	0.000742805	0.00143130	0.000569358
1	1	1	1	1	3	1	2.32375	0.0000853	0.0001675	0.000049335	0.00003319	0.000044336	0.00024794	0.000215084
1	1	1	1	1	3	2	2.32375	0.0002558	0.0005024	0.000148006	0.00009956	0.000133009	0.00074383	0.000223575
1	1	1	1	1	3	3	2.556125	0.0005629	0.0011054	0.000325613	0.00021903	0.000292620	0.00163643	0.000224292
1	1	1	1	1	4	1	1.96625	0.0001804	0.0003543	0.000104363	0.00007020	0.000093789	0.00021199	0.000454986

Продовження таблиці 4.12

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	C	$P^{(1)}$	$P^{(2)}$	$P^{(3)}$	$P^{(4)}$	$P^{(5)}$	$P^{(6)}$	$P^{(7)}$
1	1	1	1	1	4	2	1.9662 5	0.0005412	0.0010629	0.000313089	0.00021061	0.000281366	0.00063597	0.000472946
1	1	1	1	1	4	3	2.1628 75	0.0011907	0.0023383	0.000688796	0.00046333	0.000619004	0.00139914	0.000474465
1	1	1	1	2	1	1	2.772	0.0002035	0.0003996	0.000117704	0.00007918	0.000329153	0.00010956	0.000513148
1	1	1	1	2	1	2	2.772	0.0006104	0.0011987	0.000353112	0.00023753	0.00098746	0.00032868	0.000533404
1	1	1	1	2	1	3	3.0492	0.0013429	0.0026372	0.000776846	0.00052256	0.002172412	0.00072309	0.000535116
1	1	1	1	2	2	1	1.65	0.0001038	0.0002039	0.000060053	0.0000404	0.000167935	0.00010399	0.000261810
1	1	1	1	2	2	2	1.815	0.0003114	0.0006116	0.000180159	0.00012119	0.000503806	0.00031197	0.000272145
1	1	1	1	2	2	3	2.145	0.0006851	0.0013455	0.000396350 0095322019 7	0.00026661	0.001108373 3193978998	0.00068633 8196441467 6	0.000273019
1	1	1	1	2	3	1	2.145	0.000045	0.0000883	0.000026023	0.00001750	0.000072772	0.00013078	0.000113451

Побудуємо систему рівнянь у вигляді матриць $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ та P_7 (4.1-4.7):

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0.24601 & 0.24421 & 0.24681 & 0.25601 \\ 0.27911 & 0.28631 & 0.27852 & 0.28923 \\ 0.22550 & 0.22090 & 0.22475 & 0.23053 \\ 0.04986 & 0.04733 & 0.05017 & 0.04928 \\ 0.13086 & 0.13286 & 0.13069 & 0.13169 \\ 0.03898 & 0.03930 & 0.03942 & 0.04027 \\ 0.02968 & 0.02910 & 0.02965 & 0.00300 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$P2 = \begin{vmatrix} 0.11968 & 0.12432 & 0.11047 & 0.14431 \\ 0.56019 & 0.50280 & 0.56648 & 0.48500 \\ 0.15305 & 0.17899 & 0.15415 & 0.22350 \\ 0.16708 & 0.19389 & 0.16890 & 0.14719 \end{vmatrix} \quad (4.2)$$

$$P3 = \begin{vmatrix} 0.42670 & 0.42693 \\ 0.25468 & 0.25395 \\ 0.08865 & 0.08795 \\ 0.22998 & 0.23117 \end{vmatrix} \quad (4.3)$$

$$P4 = \begin{vmatrix} 0.63289 & 0.63548 & 0.63587 & 0.63642 & 0.63600 \\ 0.36711 & 0.36452 & 0.36413 & 0.36358 & 0.36400 \end{vmatrix} \quad (4.4)$$

$$P5 = \begin{vmatrix} 0.52261 & 0.45903 & 0.41079 & 0.41533 \\ 0.13302 & 0.15196 & 0.15098 & 0.19681 \\ 0.11491 & 0.14178 & 0.14192 & 0.14138 \\ 0.06555 & 0.08998 & 0.08958 & 0.08971 \\ 0.16391 & 0.15726 & 0.20672 & 0.15678 \end{vmatrix} \quad (4.5)$$

$$P6 = \begin{vmatrix} 0.46316 & 0.46115 & 0.45658 \\ 0.24469 & 0.24541 & 0.24722 \\ 0.08412 & 0.08444 & 0.08526 \\ 0.20803 & 0.20900 & 0.21094 \end{vmatrix} \quad (4.6)$$

$$P7 = \begin{vmatrix} 0.0943 & 0.1089 & 0.0571 & 0.1176 & 0.1316 & 0.1193 & 0.1226 \\ 0.2830 & 0.2970 & 0.2143 & 0.2941 & 0.3421 & 0.3303 & 0.3113 \\ 0.6226 & 0.5941 & 0.7286 & 0.5882 & 0.5263 & 0.5505 & 0.5660 \end{vmatrix} \quad (4.7)$$

Розв'яжемо систему рівнянь виду (4.8):

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{x_1} = P_1 \overline{x_2}, \quad \left| \left| \overline{x_1} \right| \right| = 1 \\ \overline{x_2} = P_2 \overline{x_3}, \quad \left| \left| \overline{x_2} \right| \right| = 1 \\ \dots \\ \overline{x_{N-1}} = P_{N-1} \overline{x_N}, \quad \left| \left| \overline{x_{N-1}} \right| \right| = 1 \\ \overline{x_N} = P_N \overline{x_1}, \quad \left| \left| \overline{x_N} \right| \right| = 1 \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Таким чином, отримаємо рішення (4.9 - 4.15):

$$X1 = \begin{vmatrix} 0.24689 \\ 0.28453 \\ 0.22379 \\ 0.04848 \\ 0.13203 \\ 0.03944 \\ 0.02485 \end{vmatrix} \quad (4.9)$$

$$X2 = \begin{vmatrix} 0.12572 \\ 0.52882 \\ 0.17598 \\ 0.16948 \end{vmatrix} \quad (4.10)$$

$$X3 = \begin{vmatrix} 0.42678 \\ 0.25441 \\ 0.08839 \\ 0.23041 \end{vmatrix} \quad (4.11)$$

$$X4 = \begin{vmatrix} 0.63446 \\ 0.36554 \end{vmatrix} \quad (4.12)$$

$$X5 = \begin{vmatrix} 0.47490 \\ 0.15262 \\ 0.12939 \\ 0.07868 \\ 0.16441 \end{vmatrix} \quad (4.13)$$

$$X6 = \begin{vmatrix} 0.45851 \\ 0.24646 \\ 0.08492 \\ 0.21010 \end{vmatrix} \quad (4.14)$$

$$X7 = \begin{vmatrix} 0.09789 \\ 0.28253 \\ 0.61958 \end{vmatrix} \quad (4.15)$$

Розрахуємо та проранжуємо ймовірність настання конфігурації альтернатив, отримані результати наведемо в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 - Проранжовані ймовірності настання конфігурацій альтернатив

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	P
2	2	1	1	1	1	3	0.005496650808805191
1	2	1	1	1	1	3	0.004769580952424703
3	2	1	1	1	1	3	0.004323253129676859
2	2	2	1	1	1	3	0.003276627025756392
2	2	1	2	1	1	3	0.0031668588843339032
2	2	4	1	1	1	3	0.002967512507998083
2	2	1	1	1	2	3	0.0029545733627271164
1	2	2	1	1	1	3	0.002843210964977561
1	2	1	2	1	1	3	0.002747962411863529
3	2	2	1	1	1	3	0.0025771489833759887

Отже, виходячи з вище представлених розрахунків та результатів проведеного першого етапу морфологічного аналізу, можна зробити наступні висновки:

- найбільш ймовірнісною альтернативою першого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Період розпалу”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою другого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Хімічні фактори”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою третього зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Діти”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою четвертого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Жіноча стать”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою п’ятого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Епідеміологічна група хвороб”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою шостого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Зима”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою сьомого зовнішнього фактору є третя альтернатива (“Наявний доступ до ліків”).

4.2.2 Другий етап двохетапного МММА

Побудуємо матрицю зв’язків між альтернативами рішень та альтернативами зовнішніх факторів та для зручності відображення подамо її у вигляді окремих таблиць для кожного з параметрів таблиці стратегій:

- “Підвищення імунітету” (таблиця 4.14);
- “Зміна стилю життя” (таблиця 4.15);
- “Метод боротьби” (таблиця 4.16).

Таблиця 4.14 - Зв'язки між альтернативами рішень та альтернативами зовнішнього фактору “Підвищення імунітету”

		Підвищення імунітету		
		Вітамінізація	Вакцинація	Загартовування
Стадія хвороби	Початкова	0.6	-0.1	-0.1
	Період розпалу	0.5	-0.7	-0.2
	Одужання	0.3	0.5	-0.1
	Ремісія	0.1		
	Ускладнення	0.4	-0.3	-0.2
	Рецидив	0.1	-0.1	
	Смерть			
Фактори	Фізичні			0.1
	Хімічні	0.3	0.5	
	Біологічні	0.1		0.05
	Психо-соціальні			0.01
Вікова категорія	Діти			
	Підлітки			
	Дорослі			
	Люди похилого віку			
Стать	Жіноча			
	Чоловіча			
Група хвороб	Епідеміологічна	0.1	0.7	0.2
	Загальна	0.4		0.2
	Місцева	0.4		0.15
	Хвороби розвитку			
	Травми	0.3		
Період року	Зима	0.7		
	Весна	0.7		
	Літо	0.4		
	Осінь	0.5		
Доступ до ліків	Відсутній			
	Обмежений			
	Наявний			

Таблиця 4.15 - Зв'язки між альтернативами рішень та альтернативами зовнішнього фактору “Зміна стилю життя”

		Зміна стилю життя			
		регулярні фізичні вправи	здоровий сон	відмова від шкідливих звичок	повноцінне харчування
Стадія хвороби	Початкова	0.05	0.3	0.1	0.2
	Період розпалу		0.5	0.4	0.5
	Одужання	0.5		0.1	
	Ремісія				
	Ускладнення		0.4	0.4	0.3
	Рецидив		0.2	0.3	0.2
	Смерть				
Фактори	Фізичні	0.2	0.4	0.3	0.4
	Хімічні		0.3		
	Біологічні	0.1		0.1	
	Психо-соціальні	0.1	0.1	0.1	
Вікова категорія	Діти				0.3
	Підлітки				0.2
	Дорослі			0.3	
	Люди похилого віку			0.1	
Стать	Жіноча				
	Чоловіча				
Група хвороб	Епідеміологічна				
	Загальна		0.2		0.1
	Місцева				
	Хвороби розвитку	0.1		0.3	
	Травми	-0.1			
Період року	Зима		0.4		0.3
	Весна				
	Літо	0.3		0.1	
	Осінь	0.2	0.2		
Доступ до ліків	Відсутній	0.01	0.3	0.4	0.3
	Обмежений		0.1	0.1	0.1
	Наявний				

Таблиця 4.16 - Зв'язки між альтернативами рішень та альтернативами зовнішнього фактору “Методи боротьби”

		Метод боротьби			
		Профілактика	Лікування	Полекшення симптомів	Хірургічне втручання
Стадія хвороби	Початкова	0.1	0.5	0.2	0.01
	Період розпалу	-0.4	0.9	0.1	0.1
	Одужання	0.6	-0.7		
	Ремісія		0.6	0.4	0.2
	Ускладнення	-0.3	0.8	0.1	0.3
	Рецидив		0.7	0.1	0.1
	Смерть				
Фактори	Фізичні		0.4	0.1	0.3
	Хімічні	0.2	0.6	0.2	0.1
	Біологічні		0.5	0.1	0.5
	Психо-соціальні	0.2	0.6	0.1	
Вікова категорія	Діти				
	Підлітки				
	Дорослі				
	Люди похилого віку				
Стать	Жіноча				
	Чоловіча				
Група хвороб	Епідеміологічна	0.6	0.7	0.3	
	Загальна	0.1	0.5	0.2	
	Місцева	0.1	0.3	0.1	0.1
	Хвороби розвитку		0.1		0.5
	Травми		0.6	0.2	0.2
Період року	Зима	0.1			
	Весна				
	Літо				
	Осінь				
Доступ до ліків	Відсутній				
	Обмежений				
	Наявний				

Обчислимо значення умовної результативності альтернатив при конфігурації зовнішніх факторів першого етапу:

- для R11, R12, R13 (таблиця 4.17);
- для R21, R22, R23, R24 (таблиця 4.18);
- для R31, R32, R33, R34 (таблиця 4.19).

Таблиця 4.17 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R11, R12, R13)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R11	R12	R13
1,1,1,1,1,1,1	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,1,2	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,1,3	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,1	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,2	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,3	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,3,1	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,3,2	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,3,3	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,4,1	0.5492276486191294	0.3580901856763925	0.09268216570447807
1,1,1,1,1,4,2	0.5492276486191294	0.3580901856763925	0.09268216570447807
1,1,1,1,1,4,3	0.5492276486191294	0.3580901856763925	0.09268216570447807
1,1,1,1,2,1,1	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,1,2	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,1,3	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,2,1	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,2,2	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,2,3	0.7231295100645652	0.19227117356627424	0.08459931636916067
1,1,1,1,2,3,1	0.6826295167609925	0.22039616891597735	0.09697431432303005

Таблиця 4.18 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R21, R22, R23, R24)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R21	R22	R23	R24
1,1,1,1,1,1,1	0.1362483587244	0.283708353568	0.3429441636539	0.2370991240535
1,1,1,1,1,1,2	0.1596368995372	0.284082731443	0.3188683720278	0.2374119969917
1,1,1,1,1,1,3	0.1728414029235	0.279618980730	0.3138580395944	0.2336815767526
1,1,1,1,1,2,1	0.1576537514308	0.234486107739	0.3968226438656	0.2110374969649
1,1,1,1,1,2,2	0.1847550675676	0.234844219219	0.3690409159159	0.2113597972973
1,1,1,1,1,2,3	0.1995438996579	0.230584061827	0.3623463828709	0.2075256556442
1,1,1,1,1,3,1	0.1885500933416	0.215722879071	0.4015764364240	0.1941505911637
1,1,1,1,1,3,2	0.2198799385732	0.214993717716	0.3716319977663	0.1934943459444
1,1,1,1,1,3,3	0.2366641622840	0.210368144252	0.3636363636364	0.1893313298272
1,1,1,1,1,4,1	0.1754261820521	0.260919909939	0.3679639755548	0.1956899324542
1,1,1,1,1,4,2	0.2045410272502	0.259994372416	0.3404688210212	0.1949957793121
1,1,1,1,1,4,3	0.2204853009799	0.254783014466	0.3336444237051	0.1910872608493
1,1,1,1,2,1,1	0.1261031598761	0.315099750513	0.3174081735934	0.2413889160178
1,1,1,1,2,1,2	0.1477356486777	0.315484553230	0.2950960957079	0.2416837023848
1,1,1,1,2,1,3	0.1601433257346	0.310891576359	0.2907999438736	0.2381651540325
1,1,1,1,2,2,1	0.1476157378838	0.263467297187	0.3715564447505	0.2173605201790
1,1,1,1,2,2,2	0.1729746589379	0.263844013099	0.3455100171547	0.2176713108075
1,1,1,1,2,2,3	0.1870368611058	0.259357780733	0.3396351890557	0.2139701691051
1,1,1,1,2,3,1	0.1774489517042	0.243626283528	0.3779330808574	0.2009916839106

Таблиця 4.19 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R31, R32, R33, R34)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R31	R32	R33	R34
1,1,1,1,1,1,1	0.3209815137196	0.517905993534	0.1066898781398	0.054422614607
1,1,1,1,1,1,2	0.3209815137196	0.517905993534	0.1066898781398	0.054422614607
1,1,1,1,1,1,3	0.3209815137196	0.517905993534	0.1066898781398	0.054422614607
1,1,1,1,1,2,1	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,2,2	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,2,3	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,3,1	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,3,2	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,3,3	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,4,1	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,4,2	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,1,4,3	0.3005721116899	0.533472803347	0.1098966783366	0.056058406626
1,1,1,1,2,1,1	0.2656951791596	0.550204611239	0.1185747080547	0.065525501547
1,1,1,1,2,1,2	0.2656951791596	0.550204611239	0.1185747080547	0.065525501547
1,1,1,1,2,1,3	0.2656951791596	0.550204611239	0.1185747080547	0.065525501547
1,1,1,1,2,2,1	0.2475196890662	0.563823258668	0.1215096655416	0.067147386724
1,1,1,1,2,2,2	0.2475196890662	0.563823258668	0.1215096655416	0.067147386724
1,1,1,1,2,2,3	0.2475196890662	0.563823258668	0.1215096655416	0.067147386724
1,1,1,1,2,3,1	0.2475196890662	0.563823258668	0.1215096655416	0.067147386724

На основі результатів обрахунків наведених в таблицях 4.13 та 4.17 - 4.19 визначимо найбільш очікувану результативність альтернатив для кожного з параметрів морфологічної таблиці стратегій:

- для параметра “Підвищення імунітету” (таблиця 4.20);
- для параметра “Зміна стилю життя” (таблиця 4.21);

- для параметра “Метод боротьби” (таблиця 4.22).

Таблиця 4.20 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Підвищення імунітету”

Вітамінізація	Вакцинація	Загартовування
0.6387677998588964	0.2860410527217616	0.07519114741937104

Таблиця 4.21 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Зміна стилю життя”

регулярні фізичні вправи	здоровий сон	Відмова від шкідливих звичок	Повноцінне харчування
0.199248850345591	0.25598931850630635	0.37311098939709353	0.17165084175103526

Таблиця 4.22 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Метод боротьби”

Профілактика	Лікування	Полекшення симптом	Хірургічне втручання
0.31101633342210605	0.5110933947023762	0.11056742396637008	0.06732284790917334

Отже, виходячи з вище представлених розрахунків та результатів другого етапу морфологічного аналізу, можна зробити наступні висновки:

- найбільш результативним способом підвищення імунітету є «Вітамінізація»;
- найбільш результативною зміною стилю життя є «Відмова від шкідливих звичок»;
- найбільш результативним методом боротьби із захворюванням є «Лікування».

4.2.3 Врахування параметру часу

Чинники, які можуть впливати на об'єкт з часом:

- події;
- тенденції.

Розглянемо наступну подію:

- вірусна епідемія
та тенденцію:
- забруднення повітря

За ступінь впливу подій на альтернативи морфологічної таблиці візьмемо наступні значення (таблиця 4.23):

Таблиця 4.23 - Ступінь впливу події на ймовірність альтернативи параметра МТ

Якісна характеристика	Кількісна характеристика
Дуже сильний негативний	0,25
Сильний негативний	0,354
Помірний негативний	0,5
Слабкий негативний	0,707
Відсутній	1
Слабкий позитивний	1,414
Помірний позитивний	2
Сильний позитивний	2,828
Дуже сильний позитивний	4

Нехай вплив тенденції на альтернативу буде лінійним і змінюватиметься впродовж 5 років. За ступінь впливу тенденцій на альтернативи морфологічної таблиці візьмемо значення, наведені в таблиці 4.24.

Таблиця 4.24 - Зміна впливу тенденції за 5 років

Якісна характеристика	Кількісна характеристика
Дуже сильний негативний	$1 \rightarrow 0,2$
Сильний негативний	$1 \rightarrow 0,25$
Помірний негативний	$1 \rightarrow 0,33$
Слабкий негативний	$1 \rightarrow 0,5$
Відсутній	$1 \rightarrow 1$
Слабкий позитивний	$1 \rightarrow 2$
Помірний позитивний	$1 \rightarrow 3$
Сильний позитивний	$1 \rightarrow 4$
Дуже сильний позитивний	$1 \rightarrow 5$

Оцінимо вплив вірусної епідемії на альтернативи зовнішніх критеріїв, враховуючи таблицю 4.23 та відобразимо результат в таблиці 4.25.

Таблиця 4.25 - Вплив вірусної епідемії на альтернативи зовнішніх критеріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
4	1	1.414	1	3	4	1
1.414	4	4	1	4	1.414	1.414
0.5	1	1		1	1	1
1.414	1	1		1	1.414	
2				1		
1						
1.414						

Оцінимо вплив забруднення повітря за 5 років на альтернативи зовнішніх критеріїв, враховуючи таблицю 4.24 та відобразимо результат в таблиці 4.26.

Таблиця 4.26 - Вплив забруднення повітря за 5 років

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
1 → 5	1 → 1	1 → 4	1 → 1	1 → 4	1 → 5	1 → 1
1 → 2	1 → 5	1 → 2	1 → 1	1 → 5	1 → 2	1 → 2
1 → 0.5	1 → 1	1 → 1		1 → 2	1 → 1	1 → 1
1 → 1	1 → 2	1 → 1		1 → 1	1 → 2	
1 → 2				1 → 1		
1 → 1						
1 → 1						

Розрахуємо вплив забруднення повітря за 2 роки на альтернативи зовнішніх критеріїв (таблиця 4.27).

Таблиця 4.27 - Вплив забруднення повітря за 2 роки на альтернативи зовнішніх критеріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
4.110812	1	3.155733	1	3.155733	4.110812	1
1.523137	4.110812	1.523137	1	4.110812	1.523137	1.523137
0.828752	1	1		1.523137	1	1
1	1.523137	1		1	1.523137	
1.523137				1		
1						
1						

Знайдемо перераховані альтернативи зовнішніх критеріїв з врахуванням впливів події та тенденції (таблиця 4.28).

Таблиця 4.28 - Альтернативи зовнішніх критеріїв з врахуванням впливів події та тенденції через 2 роки

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
0.809829	0.011330	0.487937	0.65	0.413838	0.817528	0.074288
0.106069	0.931497	0.416383	0.35	0.410732	0.091782	0.479985
0.013605	0.022660	0.027337		0.038046	0.014205	0.445727
0.011606	0.034514	0.068343		0.012489	0.076485	
0.050009				0.124894		
0.006567						
0.002321						

4.2.3.1 Перший етап двохетапного МММА

Базуючись на отриманих оцінках наведених в таблиці 4.28 побудуємо таблицю конфігурацій і наведемо перші 20 значень з неї (таблиця 4.29).

Таблиця 4.28 - Таблиця конфігурацій з урахуванням події і тенденції

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	C	$P^{(1)}$	$P^{(2)}$	$P^{(3)}$	$P^{(4)}$	$P^{(5)}$	$P^{(6)}$	$P^{(7)}$
1	1	1	1	1	1	1	4.2543	0.000114	0.0066283	0.0001648	0.000133	0.000134	0.0000976	0.001148
1	1	1	1	1	1	2	4.2543	0.000739	0.0428261	0.0010651	0.000862	0.000865	0.0006309	0.001182
1	1	1	1	1	1	3	4.6797	0.000755	0.0437465	0.0010880	0.000880	0.000884	0.0006445	0.001229
1	1	1	1	1	2	1	1.96625	0.000006	0.0003439	0.0000086	0.000007	0.000007	0.0000731	0.000059
1	1	1	1	1	2	2	1.96625	0.000038	0.0022222	0.0000553	0.000045	0.000045	0.0004723	0.000062
1	1	1	1	1	2	3	2.162875	0.000039	0.0022699	0.0000565	0.000046	0.000046	0.0004824	0.000064
1	1	1	1	1	3	1	2.32375	0.000001	0.0000629	0.0000016	0.000001	0.000001	0.0000880	0.000011
1	1	1	1	1	3	2	2.32375	0.000007	0.0004065	0.0000101	0.000008	0.000008	0.0005686	0.000011
1	1	1	1	1	3	3	2.556125	0.000007	0.0004152	0.0000103	0.000008	0.000008	0.0005808	0.000012
1	1	1	1	1	4	1	1.96625	0.000005	0.0002867	0.0000071	0.000006	0.000006	0.0000664	0.000050
1	1	1	1	1	4	2	1.96625	0.000032	0.0018519	0.0000461	0.000038	0.000037	0.0004291	0.000051
1	1	1	1	1	4	3	2.162875	0.000033	0.0018916	0.0000470	0.000038	0.000038	0.0004383	0.000053
1	1	1	1	2	1	1	2.772	0.000074	0.0042864	0.0001066	0.000086	0.000245	0.0000631	0.000742
1	1	1	1	2	1	2	2.772	0.000478	0.0276954	0.0006888	0.000557	0.001582	0.0004080	0.000764
1	1	1	1	2	1	3	3.0492	0.000489	0.0282906	0.0007036	0.000570	0.001616	0.0004168	0.000795
1	1	1	1	2	2	1	1.65	0.000005	0.0002864	0.0000071	0.000006	0.000016	0.0000608	0.000050
1	1	1	1	2	2	2	1.65	0.000032	0.0018508	0.0000460	0.000037	0.000106	0.0003934	0.0000510
1	1	1	1	2	2	3	1.815	0.000033	0.0018905	0.0000470	0.000038	0.000108	0.0004018	0.000053
1	1	1	1	2	3	1	2.145	9.953090	0.0000576	0.0000014	0.0000013	0.000003	0.0000806	0.000010
1	1	1	1	2	3	2	2.145	0.000006	0.0003724	0.0000093	0.000008	0.000021	0.0005209	0.000001

Побудуємо систему рівнянь у вигляді матриць $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ та P_7 (4.16-4.22):

P1 =

0.75150	0.74565	0.75176	0.75347
0.12425	0.12788	0.12409	0.12472
0.01622	0.01601	0.01612	0.01613
0.01258	0.01212	0.01256	0.01225
0.08526	0.08807	0.08519	0.08488
0.00833	0.00840	0.00844	0.00838
0.00186	0.00187	0.00184	0.00018

(4.16)

P2 =

0.01197	0.01372	0.01098	0.01649
0.94938	0.93650	0.95015	0.93469
0.01449	0.01874	0.01453	0.02429
0.02416	0.03105	0.02435	0.02454

(4.17)

P3 =

0.51779	0.51851
0.40209	0.40131
0.02749	0.02728
0.05263	0.05289

(4.18)

P4 =

0.63965	0.64134	0.64143	0.64165	0.64138
0.36035	0.35866	0.35857	0.35835	0.35862

(4.19)

$$P5 = \begin{vmatrix} 0.64843 & 0.59647 & 0.55284 & 0.52931 \\ 0.216368 & 0.25805 & 0.26356 & 0.32828 \\ 0.01814 & 0.02358 & 0.02410 & 0.02308 \\ 0.00614 & 0.00880 & 0.008993 & 0.00861 \\ 0.11092 & 0.11311 & 0.15051 & 0.11071 \end{vmatrix} \quad (4.20)$$

$$P6 = \begin{vmatrix} 0.87554 & 0.87499 & 0.87398 \\ 0.06024 & 0.06045 & 0.06086 \\ 0.00915 & 0.00918 & 0.00925 \\ 0.05507 & 0.05538 & 0.05592 \end{vmatrix} \quad (4.21)$$

$$P7 = \begin{vmatrix} 0.0712 & 0.0811 & 0.0458 & 0.0878 & 0.0943 & 0.0864 & 0.0902 \\ 0.4595 & 0.4764 & 0.3700 & 0.4729 & 0.5283 & 0.5151 & 0.4933 \\ 0.4694 & 0.4424 & 0.5842 & 0.4392 & 0.3774 & 0.3986 & 0.4165 \end{vmatrix} \quad (4.22)$$

Розв'яжемо систему рівнянь виду (4.8) і отримаємо рішення (4.23 - 4.29):

$$X1 = \begin{vmatrix} 0.74604 \\ 0.12768 \\ 0.01602 \\ 0.01214 \\ 0.08790 \\ 0.00840 \\ 0.00182 \end{vmatrix} \quad (4.23)$$

$$X2 = \begin{vmatrix} 0.01288 \\ 0.94345 \\ 0.01671 \\ 0.02695 \end{vmatrix} \tag{4.24}$$

$$X3 = \begin{vmatrix} 0.51805 \\ 0.40181 \\ 0.02742 \\ 0.05272 \end{vmatrix} \tag{4.25}$$

$$X4 = \begin{vmatrix} 0.64027 \\ 0.35973 \end{vmatrix} \tag{4.26}$$

$$X5 = \begin{vmatrix} 0.63778 \\ 0.22555 \\ 0.01880 \\ 0.00647 \\ 0.11141 \end{vmatrix} \tag{4.27}$$

$$X6 = \begin{vmatrix} 0.87457 \\ 0.06062 \\ 0.00921 \\ 0.05560 \end{vmatrix} \tag{4.28}$$

$$X7 = \begin{vmatrix} 0.07440 \\ 0.46697 \\ 0.45863 \end{vmatrix} \quad (4.29)$$

Розрахуємо та проранжуємо ймовірність настання конфігурації альтернатив, отримані результати наведемо в таблиці 4.29.

Таблиця 4.29 - Проранжовані ймовірності настання конфігурацій альтернатив

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	P
1	2	1	1	1	1	2	0.06080954519707374
1	2	1	1	1	1	3	0.05972368949620376
1	2	2	1	1	1	2	0.04716446148662956
1	2	2	1	1	1	3	0.046322261479743415
1	2	1	2	1	1	2	0.03416528418122229
1	2	1	2	1	1	3	0.033555206133774426
1	2	2	2	1	1	2	0.02649891928516768
1	2	2	2	1	1	3	0.02602573695039703
1	2	1	1	2	1	2	0.021504941375495586
1	2	1	1	2	1	3	0.021120934833203927

Отже, виходячи з вище представлених розрахунків та результатів проведеного першого етапу морфологічного аналізу, можна зробити наступні висновки:

- найбільш ймовірнісною альтернативою першого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Початкова стадія”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою другого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Хімічні фактори”);

- найбільш ймовірнісною альтернативою третього зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Діти”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою четвертого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Жіноча стать”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою п’ятого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Епідеміологічна група хвороб”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою шостого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Зима”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою сьомого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Обмежений доступ до ліків”).

4.2.3.2 Морфологічний аналіз рішень

Обчислимо значення умовної результативності альтернатив при конфігурації зовнішніх факторів першого етапу:

- для R11, R12, R13 (таблиця 4.30);
- для R21, R22, R23, R24 (таблиця 4.31);
- для R31, R32, R33, R34 (таблиця 4.32).

Таблиця 4.30 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R11, R12, R13)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R11	R12	R13
1,1,1,1,1,1,1	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,1,2	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003

Продовження таблиці 4.30

1,1,1,1,1,3	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,1	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,2	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,2,3	0.5799854615943786	0.33365640901381144	0.08635812939181003
1,1,1,1,1,3,1	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,3,2	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,3,3	0.5320952329536253	0.3717000485882416	0.09620471845813314
1,1,1,1,1,4,1	0.5492276486191294	0.3580901856763925	0.09268216570447807

Таблиця 4.31 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R21, R22, R23, R24)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R21	R22	R23	R24
1,1,1,1,1,1,1	0.1362483587243 916	0.283708353568 2381	0.3429441636539 142	0.2370991240534 5612
1,1,1,1,1,1,2	0.1596368995372 05	0.284082731443 09726	0.3188683720279 664	0.2374119969917 313
1,1,1,1,1,1,3	0.1728414029234 8887	0.279618980729 55527	0.3138580395943 9884	0.2336815767525 5696
1,1,1,1,1,2,1	0.1576537514308 5084	0.234486107738 73524	0.3968226438655 5205	0.2110374969648 6174
1,1,1,1,1,2,2	0.1847550675675 6754	0.234844219219 21916	0.3690409159159 16	0.2113597972972 973
1,1,1,1,1,2,3	0.1995438996579 247	0.230584061826 93522	0.3623463828708 9826	0.2075256556442 4172
1,1,1,1,1,3,1	0.1885500933416 304	0.215722879070 7322	0.4015764364239 7856	0.1941505911636 5901
1,1,1,1,1,3,2	0.2198799385732 235	0.214993717716 0407	0.3716319977662 991	0.1934943459444 3668
1,1,1,1,1,3,3	0.2366641622839 9698	0.210368144252 44174	0.3636363636363 637	0.1893313298271 9758
1,1,1,1,1,4,1	0.1754261820521 0675	0.260919909938 8871	0.3679639755548 408	0.1956899324541 653

Таблиця 4.32 - Часткова таблиця результатів розрахунків умовної результативності альтернатив (R31, R32, R33, R34)

F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7	R31	R32	R33	R34
1,1,1,1,1,1,1	0.3209815137196 387	0.517905993533 9466	0.1066898781397 6624	0.054422614606 64844
1,1,1,1,1,1,2	0.3209815137196 387	0.517905993533 9466	0.1066898781397 6624	0.054422614606 64844
1,1,1,1,1,1,3	0.3209815137196 387	0.517905993533 9466	0.1066898781397 6624	0.054422614606 64844
1,1,1,1,1,2,1	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,2,2	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,2,3	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,3,1	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,3,2	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,3,3	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885
1,1,1,1,1,4,1	0.3005721116898 6436	0.533472803347 2803	0.1098966783366 0663	0.056058406626 24885

Визначимо найбільш очікувану результативність альтернатив для кожного з параметрів морфологічної таблиці стратегій:

- для параметра “Підвищення імунітету” (таблиця 4.33);
- для параметра “Зміна стилю життя” (таблиця 4.34);
- для параметра “Метод боротьби” (таблиця 4.35).

Таблиця 4.33 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Підвищення імунітету”

Вітамінізація	Вакцинація	Загартовування
0.6370777235616667	0.30105816515539835	0.061864111282963694

Таблиця 4.34 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Зміна стилю життя”

регулярні фізичні вправи	здоровий сон	Відмова від шкідливих звичок	Повноцінне харчування
0.16548000698074308	0.32054698314233376	0.3173355712807451	0.1966374385962042

Таблиця 4.35 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Метод боротьби”

Профілактика	Лікування	Полекшення симптом	Хірургічне втручання
0.28853208995679624	0.5587929414622085	0.10503719079170648	0.04763777778931108

Отже, виходячи з вище представлених розрахунків та результатів другого етапу морфологічного аналізу, можна зробити наступні висновки:

- найбільш результативним способом підвищення імунітету є «Вітамінізація»;
- найбільш результативною зміною стилю життя є «Здоровий сон»;
- найбільш результативним методом боротьби із захворюванням є «Лікування».

Для того, щоб порівняти отримані результати з результатами, отриманими шляхом використання лінійної залежності тенденції від часу, наведемо кінцеві розрахунки найбільш очікуваної результативності альтернатив для кожного з параметрів морфологічної таблиці стратегій:

- для параметра “Підвищення імунітету” (таблиця 4.36);

- для параметра “Зміна стилю життя” (таблиця 4.37);
- для параметра “Метод боротьби” (таблиця 4.38).

Таблиця 4.36 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Підвищення імунітету”

Вітамінізація	Вакцинація	Загартовування
0.6449292044670698	0.29210920829504056	0.0629615872379012

Таблиця 4.37 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Зміна стилю життя”

регулярні фізичні вправи	здоровий сон	Відмова від шкідливих звичок	Повноцінне харчування
0.1662644464670766	0.31522540672399696	0.3244644995321067	0.19404564727683157

Таблиця 4.38 - Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Метод боротьби”

Профілактика	Лікування	Полекшення симптом	Хірургічне втручання
0.2788873065894429	0.5667240861843496	0.10494492075706625	0.04944368646914599

Таким чином бачимо, що результати отримані з використанням лінійної залежності тенденцій від часу відрізняються від результатів, отриманих з використанням логарифмічної залежності, а саме тим, що найбільш результативною зміною стилю життя в першому випадку є «Відмова від шкідливих звичок», а в другому - «Здоровий сон».

Висновки до розділу 4

В даному розділі було аргументовано вибір інструментів для програмної реалізації СППР на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу. Також було детально розглянуто роботу системи на практичному прикладі. В якості задачі, на якій розглядається робота системи було представлено тему захворюваності населення та методів боротьби з нею. В якості події, що впливає на об'єкт дослідження розглядається вірусна епідемія, в якості тенденції - забруднення повітря. В розділі було представлено кожен з етапів МММА у вигляді результуючих таблиць. В кінці проведено порівняльний аналіз результатів, отриманих шляхом використання лінійної залежності тенденцій від часу та логарифмічної, що була запропонована в даній дисертації. Результати показали, що запропонована залежність краще відповідає на зміни в системі та більш точно відображає реальну картину, адже, як вже згадувалося, більшість процесів у природі досить складні і носять нелінійний характер, тому опису тенденцій в лінійному вигляді, як наведено в роботі [1], не завжди достатньо для адекватного представлення змін об'єкта з часом.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було реалізовано систему підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу з урахуванням змін об'єкта в часі, що дозволяє отримувати рішення в умовах невизначеності та неповноти інформації про навколишнє середовище, а також в умовах динамічно змінюваного середовища. Розробка такої системи є досить актуальною та перспективною задачею на сьогоднішній день.

Для реалізації поставленої задачі були виконані наступні кроки:

- досліджено та проаналізовано існуючі методи якісного аналізу, що використовуються для побудови систем підтримки прийняття рішень;
- проаналізовано існуючі системи підтримки прийняття рішень та виявлено їх переваги та недоліки;
- описано процедуру експертного оцінювання та наведено три основні методи, що є найбільш широко використовувані в практичних цілях;
- проведено опис кожного з етапів двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу, наведено алгоритм побудови матриці взаємозв'язків параметрів та розрахунку імовірності альтернатив параметрів;
- наведено два варіанти врахування параметру часу та проаргументовано вибір найкращого;
- запропоновано використовувати логарифмічний характер залежності тенденцій від часу, що більш точно відображає характер процесів у природі;

- виконано програмну реалізацію системи підтримки прийняття рішень з запропонованими в дисертації модифікаціями;
- приведено приклад використання розробленої програми на конкретному практичному прикладі проблеми захворюваності населення, що яскраво відображає доцільність розробки такої системи.

Також було обґрунтовано вибір мови програмування для реалізації системи підтримки прийняття рішень. Досліджено та проаналізовано розроблений алгоритм роботи системи. Описано та проілюстровано роботу розробленої системи на основі реальних даних про навколишнє середовище.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Савченко И. А. Эволюция объекта исследования с привлечением модифицированного метода морфологического анализа / И. А. Савченко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – №2. – С. 122–130.
2. Казак В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Системний аналіз АОТС» / В. М. Казак. - Суми: Сумський державний університет, 2010. – 106 с.
3. Стариков П. А. Пиковые переживания и технологии творчества / П. А. Стариков. - Красноярск: филиал НОУ ВПО «Санкт-Петербургский институт внешнеэкономических связей, экономики и права» в г. Красноярске, 2011. – 92 с.
4. Пилипенко Д. Є. Оцінка достовірності результатів аналізу перехресного впливу при розв'язанні задач технологічного передбачення / Д. Є. Пилипенко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – № 3. – С. 129-140.
5. The Analytic Hierarchy Process (АНР)[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ivm.vu.nl/en/Images/MCA3_tcm234-161529.pdf
6. Saati T. Decision-making. Method of the analysis of hierarchies / T. Saati. – Moskow:Radio and communication, 1993. – 278 p.
7. Панкратова Н. Д. Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2009. – №2. – С. 35–44.
8. Панкратова Н. Д. Застосування методу морфологічного аналізу до задач технологічного передбачення / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко

- // Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Серія «Комп'ютерні технології». – 2008. – Т. 90, Вип. 77. – С. 6–13.
9. Савченко І. О. Методологічне і математичне забезпечення розв'язання задач передбачення на основі модифікованого методу морфологічного аналізу / І. О. Савченко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. – №3. – С. 18–28.
 10. Кравченко Т. К. Системы поддержки принятия решений при оценке эффективности инвестиционных проектов в телекоммуникационной сфере / Т. К. Кравченко // Прикладная информатика. – 2014. – №5. – С. 119–134.
 11. Блюмин С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. - Липецк: ЛЭГИ. – 2001. – 138 с.
 12. MPRIORITY [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.tomakechoice.com/mpriority.html>.
 13. Беляева М. А. Этапы разработки интегрированной информационно-аналитической системы обработки экономической информации в организациях / М. А. Беляева, О. К. Безотосова // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 142-148.
 14. Петруня Ю. Є. Прийняття управлінських рішень / Ю. Є. Петруня, В. Б. Говоруха, Б. В. Літовченко. - К.: Центр учбової літератури, 2011. – 216 с.
 15. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання / Б. Є. Грабовецький. - Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.

16. Савченко И. А. Оценивание чувствительности решения при использовании модифицированного метода морфологического анализа / И. А. Савченко // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 139-148.
17. Сенина А. А. Обзор основных современных технологий разработки Web-приложений / А. А. Сенина, А. Ф. Тузовский // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – С. 26-27.
18. Rethinking morphological analysis application for concept synthesis in engineering design [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://www.athensjournals.gr/technology/2016-3-2-4-Heller.pdf>
19. Morphological Analysis in Inventive Engineering [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162517314208>
20. The Futures Group, Relevance Tree and Morphological Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.master-vti.fr/web/IMG/pdf/tree-morphological_analysis.pdf

ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОПОВІДІ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут прикладного системного аналізу
Кафедра математичних методів системного аналізу

Магістерська дисертація

на тему: “Система підтримки прийняття рішень на основі двохетапного
модифікованого методу морфологічного аналізу”

Науковий керівник:
старший викладач, к.т.н.,
Савченко І.О.

виконала:
студентка групи КА-62М
Шиби́рин А.Р.

Київ - 2018

Актуальність проблеми

Задачі прийняття рішень зустрічаються в усіх сферах людської діяльності і характеризуються великою різноманітністю. Значимість прийнятих рішень, а тим більше наслідки прийняття помилкових рішень, в деяких випадках можуть нести катастрофічний характер. Тому важливо, щоб продуктом безпосередньої діяльності особи, що приймає рішення (ОПР) було прийняття грамотних рішень. В умовах сучасного світу, коли кількість факторів, що впливають на об’єкт дослідження невинно росте, досвіду та інтуїції ОПР стає недостатньо, що стало поштовхом до активної розробки систем підтримки прийняття рішень (СППР), які вирішують неструктуровані і слабоструктуровані багатокритеріальні задачі.

Недоліком більшості існуючих СППР є те, що вони не враховують зміни об’єкта на проміжку часу, тому отримані результати будуть актуальними лише для конкретного моменту і можуть стати недійсними в будь-який інший. Саме тому ціллю даної роботи є модифікація методу морфологічного аналізу (ММА) для врахування змін об’єкта в часі та розробка СППР на базі створеного алгоритму.



Об’єкт дослідження:

Складні системи з наявністю людського фактору, що зазнають змін часом

Предмет дослідження:

Методи морфологічного аналізу з урахуванням змін об’єкта з часом

Мета роботи:

Розробка системи підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу

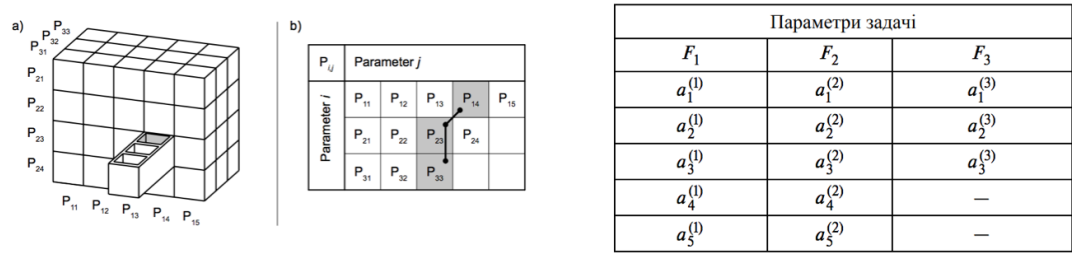
Наукова новизна роботи визначається наступним теоретичними і практичними результатами, отриманими автором:

Уперше:

- запропоновано використовувати логарифмічний характер залежності тенденцій від часу;
- виконано програмну реалізацію двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу з урахуванням змін об’єкта в часі у вигляді системи підтримки прийняття рішень

Метод морфологічного аналізу

Метод морфологічного аналізу - це потужний інструмент в наукових дослідженнях для систематизації знаходження всіх можливих варіантів вирішення поставленої задачі, базуючись на аналізі структури досліджуваного об’єкта. Даний метод широко використовується в прогнозуванні складних процесів та створенні принципово нових сценаріїв.



Перший етап методу морфологічного аналізу

Для врахування зв'язків між параметрами морфологічної таблиці використовується числова матриця взаємної узгодженості. Кожній парі альтернатив $a_{j_1}^{(i_1)}, a_{j_2}^{(i_2)}$ різних параметрів F_{i_1}, F_{i_2} присвоюється оцінка $c_{i_1 j_1, i_2 j_2} \in [-1; 1]$

Параметри морфологічної таблиці		F_1				...	F_{N-1}				
		$a_1^{(1)}$	$a_2^{(1)}$	...	$a_{n_1}^{(1)}$	...	$a_1^{(N-1)}$	$a_2^{(N-1)}$	...	$a_{n_{N-1}}^{(N-1)}$
F_2	$a_1^{(2)}$	$c_{11,21}$	$c_{12,21}$	...	$c_{1n_1,21}$					
	$a_2^{(2)}$	$c_{11,22}$	$c_{12,22}$	...	$c_{1n_1,22}$					
						
	$a_{n_2}^{(2)}$	$c_{11,2n_2}$	$c_{12,2n_2}$	...	$c_{1n_1,2n_2}$					
...					
F_N	$a_1^{(N)}$	$c_{11,N1}$	$c_{12,N1}$...	$c_{1n_1,N1}$			$C_{(N-1)1,N1}$	$C_{(N-1)2,N1}$...	$C_{(N-1)n_{N-1},N1}$
	$a_2^{(N)}$	$c_{11,N2}$	$c_{12,N2}$...	$c_{1n_1,N2}$			$C_{(N-1)1,N2}$	$C_{(N-1)2,N2}$...	$C_{(N-1)n_{N-1},N2}$
	
	$a_{n_N}^{(N)}$	c_{11,Nn_N}	c_{12,Nn_N}	...	c_{1n_1,Nn_N}			$C_{(N-1)1,Nn_N}$	$C_{(N-1)2,Nn_N}$...	$C_{(N-1)n_{N-1},Nn_N}$

5

Перший етап методу морфологічного аналізу

Постановка задачі:

Дано:

- морфологічну таблицю, що містить множину характеристичних параметрів $F = \{F_i \mid i \in \overline{1, N}\}$
- кожен параметр F_i описується множиною альтернатив $A_i = \{a_j^{(i)} \mid j \in \overline{1, n_i}\}$
- незалежні ймовірності всіх альтернатив $\{p_j^{(i)} \mid i \in \overline{1, N}, j \in \overline{1, n_i}\}$
- значення взаємозв'язків всіх пар альтернатив параметрів

$$\{c_{i_1 j_1, i_2 j_2} \mid i_1, i_2 \in \overline{1, N}; i_1 \neq i_2; j_1 \in \overline{1, n_{i_1}}; j_2 \in \overline{1, n_{i_2}}\}$$

Потрібно: Розрахувати ймовірності $p_j^{(i)}$ настання кожної з альтернатив $a_j^{(i)}$

6



Перший етап методу морфологічного аналізу

$$\begin{aligned}
 p_1^{(1)} &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)} \\
 &\dots \\
 p_{n_1}^{(1)} &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{n_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)} \\
 p_1^{(2)} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_3}^{(3)}) p_{j_3}^{(3)} \\
 &\dots \\
 p_1^{(N)} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_{N-1}}^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)} \\
 &\dots \\
 p_{n_N}^{(N)} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)} \\
 \sum_{i=1}^{n_1} p_i^{(1)} &= 1 \\
 &\dots \\
 \sum_{i=1}^{n_N} p_i^{(N)} &= 1
 \end{aligned}$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо морфологічну таблицю, що містить у собі оцінки альтернатив, які враховують взаємозв'язки параметрів системи. Ці значення слугуватимуть в якості вхідних даних для другого етапу двохетапної процедури морфологічного аналізу.

7

Другий етап методу морфологічного аналізу

Таким чином, на основі результатів розрахунку першого етапу морфологічного дослідження та матриці узгодженості необхідно розрахувати:

- оцінки результативності $R_j^{(i)}$ кожної з альтернатив параметрів морфологічної таблиці стратегій $a_j^{(i)}$, $i \in N+1, N+N'$, $j \in \overline{1, n_i}$ в умовах ситуації, заданої морфологічною таблицею сценаріїв
- оцінки результативності $R\{s_l\}$ конфігурації s_l , породжених морфологічною таблицею стратегій в умовах ситуації, заданої морфологічною таблицею сценаріїв

Введемо величину умовної результативності $R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$ альтернативи $a_j^{(i)}$, $i \in N+1, N+N'$ при конфігурації морфологічної таблиці сценаріїв $\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$:

$$R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \frac{p_j^{(i)} \prod_{m=1}^N (c_{m_{j_m} j} + 1)}{\sum_{k=1}^{n_i} p_k^{(i)} \prod_{m=1}^N (c_{m_{j_m} j} + 1)}$$



8

Другий етап методу морфологічного аналізу

У найпростішому випадку, коли параметри стратегії не пов'язані між собою, оцінити результативність конфігурації МТ стратегій $s = \{a_{j_{N+1}}^{(N+1)}, a_{j_{N+2}}^{(N+2)}, a_{j_{N+3}}^{(N+3)}, \dots, a_{j_{N+N'}}^{(N+N')}\}$, за умов повної ситуації МТ сценаріїв можна способом, аналогічним до оцінювання результативності окремих її параметрів:

$$R\{s\} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} \sum_{i=N+1}^{N+N'} R(a_{j_i}^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$$

9

Врахування параметру часу

Одним із запропонованих методів врахування змін об'єкта з часом є внесення параметру часу як окремого характеристичного параметра до МТ

T	F_1	F_2	...	F_N
t_1	$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
t_2	$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...
t_{n_T}	$a_{n_1}^{(1)}$	$a_{n_2}^{(2)}$	...	$a_{n_N}^{(N)}$



10

Врахування параметру часу

Для оптимізації методу врахування часу в ММА та зручного обліку змін пропонується розглядати час не як окремий параметр, а як ряд чинників, які впливають на об'єкт. Отже, на зміну об'єкта в часі впливають такі чинники як:

- події, або миттєві зміни ймовірностей альтернатив параметрів;
- тенденції, або неперервні зміни ймовірностей альтернатив параметрів.

11



Вплив подій на об'єкт дослідження

Нехай $E = \{E_k \mid k \in \overline{1, n_E}\}$ - це множина всіх подій, які впливають на досліджуваний об'єкт в часі.

Позначимо вплив деякої події E_k на альтернативу $a_j^{(i)}$ як σ_{kij} .

Тоді, ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи вплив події E_k можна обраховувати за наступною формулою:

$$p_{ji}^{*(i)} = \frac{\sigma_{kij} p_{ji}^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \sigma_{kij} p_j^{(i)}}$$

А вплив всієї множини подій E на ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ можна отримати за наступною формулою:

$$p_{ji}^{*(i)} = \frac{\prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij} p_{ji}^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left(\prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij} p_j^{(i)} \right)}$$

12

Вплив тенденцій на об'єкт дослідження

Нехай $T = \{T_k \mid k \in \overline{1, n_T}\}$ - множина всіх тенденцій, які впливають на досліджуваний об'єкт в часі.

Позначимо вплив деякої тенденції T_k на альтернативу $a_j^{(i)}$ як коефіцієнт $\tau_{kij}(t)$

Ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи тенденції T_k в певний момент часу t можна обраховувати за наступною формулою:

$$p_{ji}^{*(i)}(t) = \frac{\tau_{kij}(t)p_{ji}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \tau_{kij}(t)p_j'^{(i)}}$$

А вплив всієї множини тенденцій. $T = \{T_k \mid k \in \overline{1, n_T}\}$ на ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ в певний момент часу t можна отримати за наступною формулою:

$$p_{ji}^{*(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t)p_{ji}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left(\prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t)p_j'^{(i)} \right)}$$

13

Наукова новизна

Оскільки більшість процесів у природі досить складні і носять нелінійний характер, опису тенденцій в лінійному вигляді не завжди достатньо для адекватного представлення змін об'єкта з часом. Тому в своїй роботі пропоную використовувати принципово новий підхід до визначення залежності тенденцій від часу, що носить логарифмічний характер і дозволяє більш точно аналізувати вплив тенденцій на початкові ймовірності альтернатив параметрів морфологічної таблиці. Тому будемо розглядати визначення $\tau_{kij}(t)$ через наступну формулу

$$\tau_{kij}(t) = \ln\left(\frac{e^{\frac{\tau_{kij}^{t_{\text{кін}}}}{t_{\text{кін}}}} - e}{t_{\text{кін}}}\right)$$

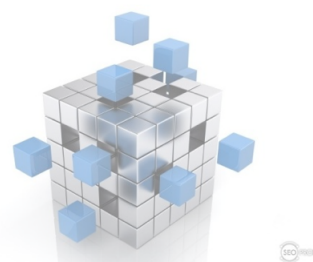


14

Вплив подій і тенденцій на об'єкт дослідження

Ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ враховуючи тенденції T_k та події E_k в певний момент часу t можна обрахувати за наступною формулою:

$$p_{ji}^{n(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_E^*} \sigma_{kji} \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kji}(t) p_{ji}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left(\prod_{k=1}^{n_E^*} \sigma_{kij} \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t) p_j'^{(i)} \right)}.$$



15

Практичний приклад роботи СППР

Морфологічна таблиця сценаріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
Початкова	Фізичні	Діти	Жіноча	Епідеміологічна	Зима	Відсутній
Період розпаду	Хімічні	Підлітки	Чоловіча	Загальна	Весна	Обмежений
Одужання	Біологічні	Дорослі		Місцева	Літо	Наявний
Ремісія	Психо-соціальні	Люди похилого віку		Хвороби розвитку	Осінь	
Ускладнення				Травми		
Рецидив						
Смерть						

Морфологічна таблиця стратегій

Підвищення імунітету	Зміна стилю життя	Метод боротьби
Вітамінізація	регулярні фізичні вправи	Профілактика
Вакцинація	здоровий сон (мінімум 8 годин)	Лікування
Загартовування	відмова від шкідливих звичок	Полікшення симптомів
	повноцінне харчування	Хірургічне втручання

16

Практичний приклад роботи СППР

Експертні оцінки для морфологічної таблиці сценаріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
0.3	0.1	0.4	0.65	0.35	0.35	0.1
0.3	0.5	0.25	0.35	0.3	0.3	0.3
0.2	0.2	0.1		0.25	0.1	0.6
0.05	0.2	0.25		0.1	0.25	
0.1						
0.04						
0.01						

Експертні оцінки для морфологічної таблиці стратегій

Підвищення імунітету	Зміна стилю життя	Метод боротьби
0.4	0.25	0.4
0.45	0.2	0.35
0.15	0.4	0.15
	0.15	0.1

17

Практичний приклад роботи СППР

Таблиця конфігурацій з нормованими умовними ймовірностями конфігурацій

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	C	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)	P(5)	P(6)	P(7)
1	1	1	1	1	1	1	4.25425	0.0005465	0.0010732	0.000316125	0.00021265	0.000284094	0.00029423	0.001378193
1	1	1	1	1	1	2	4.25425	0.0016394	0.0032195	0.000948375	0.00063795	0.000852282	0.00088275	0.001432597
1	1	1	1	1	1	3	4.679675	0.0036067	0.0070828	0.002086425	0.00140348	0.001875020	0.00194204	0.001437197
1	1	1	1	1	2	1	1.96625	0.0002165	0.0004251	0.000125236	0.00008424	0.000112546	0.00021686	0.000545983
1	1	1	1	1	2	2	1.96625	0.0006495	0.0012754	0.000375707	0.00025273	0.000337638	0.00065059	0.000567535
1	1	1	1	1	2	3	2.162875	0.0014288	0.0028059	0.000826555	0.00055600	0.000742805	0.00143130	0.000569358
1	1	1	1	1	3	1	2.32375	0.0000853	0.0001675	0.000049335	0.00003319	0.000044336	0.00024794	0.000215084
1	1	1	1	1	3	2	2.32375	0.0002558	0.0005024	0.000148006	0.00009956	0.000133009	0.00074383	0.000223575
1	1	1	1	1	3	3	2.556125	0.0005629	0.0011054	0.000325613	0.00021903	0.000292620	0.00163643	0.000224292
1	1	1	1	1	4	1	1.96625	0.0001804	0.0003543	0.000104363	0.00007020	0.000093789	0.00021199	0.000454986

18

Практичний приклад роботи СППР

$$P1 = \begin{vmatrix} 0.24601 & 0.24421 & 0.24681 & 0.25601 \\ 0.27911 & 0.28631 & 0.27852 & 0.28923 \\ 0.22550 & 0.22090 & 0.22475 & 0.23053 \\ 0.04986 & 0.04733 & 0.05017 & 0.04928 \\ 0.13086 & 0.13286 & 0.13069 & 0.13169 \\ 0.03898 & 0.03930 & 0.03942 & 0.04027 \\ 0.02968 & 0.02910 & 0.02965 & 0.00300 \end{vmatrix} \quad P2 = \begin{vmatrix} 0.11968 & 0.12432 & 0.11047 & 0.14431 \\ 0.56019 & 0.50280 & 0.56648 & 0.48500 \\ 0.15305 & 0.17899 & 0.15415 & 0.22350 \\ 0.16708 & 0.19389 & 0.16890 & 0.14719 \end{vmatrix} \quad P3 = \begin{vmatrix} 0.42670 & 0.42693 \\ 0.25468 & 0.25395 \\ 0.08865 & 0.08795 \\ 0.22998 & 0.23117 \end{vmatrix}$$

$$P4 = \begin{vmatrix} 0.63289 & 0.63548 & 0.63587 & 0.63642 & 0.63600 \\ 0.36711 & 0.36452 & 0.36413 & 0.36358 & 0.36400 \end{vmatrix} \quad P5 = \begin{vmatrix} 0.52261 & 0.45903 & 0.41079 & 0.41533 \\ 0.13302 & 0.15196 & 0.15098 & 0.19681 \\ 0.11491 & 0.14178 & 0.14192 & 0.14138 \\ 0.06555 & 0.08998 & 0.08958 & 0.08971 \\ 0.16391 & 0.15726 & 0.20672 & 0.15678 \end{vmatrix}$$

$$P6 = \begin{vmatrix} 0.46316 & 0.46115 & 0.45658 \\ 0.24469 & 0.24541 & 0.24722 \\ 0.08412 & 0.08444 & 0.08526 \\ 0.20803 & 0.20900 & 0.21094 \end{vmatrix} \quad P7 = \begin{vmatrix} 0.0943 & 0.1089 & 0.0571 & 0.1176 & 0.1316 & 0.1193 & 0.1226 \\ 0.2830 & 0.2970 & 0.2143 & 0.2941 & 0.3421 & 0.3303 & 0.3113 \\ 0.6226 & 0.5941 & 0.7286 & 0.5882 & 0.5263 & 0.5505 & 0.5660 \end{vmatrix}$$

19

Практичний приклад роботи СППР

$$X1 = \begin{vmatrix} 0.24689 \\ 0.28453 \\ 0.22379 \\ 0.04848 \\ 0.13203 \\ 0.03944 \\ 0.02485 \end{vmatrix} \quad X2 = \begin{vmatrix} 0.12572 \\ 0.52882 \\ 0.17598 \\ 0.16948 \end{vmatrix} \quad X3 = \begin{vmatrix} 0.42678 \\ 0.25441 \\ 0.08839 \\ 0.23041 \end{vmatrix}$$

$$X4 = \begin{vmatrix} 0.63446 \\ 0.36554 \end{vmatrix} \quad X5 = \begin{vmatrix} 0.47490 \\ 0.15262 \\ 0.12939 \\ 0.07868 \\ 0.16441 \end{vmatrix} \quad X6 = \begin{vmatrix} 0.45851 \\ 0.24646 \\ 0.08492 \\ 0.21010 \end{vmatrix} \quad X7 = \begin{vmatrix} 0.09789 \\ 0.28253 \\ 0.61958 \end{vmatrix}$$

20

Практичний приклад роботи СППР

Проранжовані ймовірності настання конфігурацій альтернатив

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	P
2	2	1	1	1	1	3	0.005496650808805191
1	2	1	1	1	1	3	0.004769580952424703
3	2	1	1	1	1	3	0.004323253129676859
2	2	2	1	1	1	3	0.003276627025756392
2	2	1	2	1	1	3	0.0031668588843339032
2	2	4	1	1	1	3	0.002967512507998083
2	2	1	1	1	2	3	0.0029545733627271164
1	2	2	1	1	1	3	0.002843210964977561
1	2	1	2	1	1	3	0.002747962411863529
3	2	2	1	1	1	3	0.0025771489833759887

21

Практичний приклад роботи СППР

- найбільш ймовірнісною альтернативою першого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Період розпалу”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою другого зовнішнього фактору є друга альтернатива (“Хімічні фактори”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою третього зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Діти”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою четвертого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Жіноча стать”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою п'ятого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Епідеміологічна група хвороб”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою шостого зовнішнього фактору є перша альтернатива (“Зима”);
- найбільш ймовірнісною альтернативою сьомого зовнішнього фактору є третя альтернатива (“Наявний доступ до ліків”).

22

Практичний приклад роботи СППР

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Підвищення імунітету”

Вітамінізація	Вакцинація	Загартовування
0.6387677998588964	0.2860410527217616	0.07519114741937104

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Зміна стилю життя”

регулярні фізичні вправи	здоровий сон	Відмова від шкідливих звичок	Повноцінне харчування
0.199248850345591	0.25598931850630635	0.37311098939709353	0.17165084175103526

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Метод боротьби”

Профілактика	Лікування	Полікшення симптом	Хірургічне втручання
0.3110163342210605	0.5110933947023762	0.11056742396637008	0.06732284790917334

23

Практичний приклад роботи СППР

Вплив вірусної епідемії на альтернативи зовнішніх критеріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
4	1	1.414	1	3	4	1
1.414	4	4	1	4	1.414	1.414
0.5	1	1		1	1	1
1.414	1	1		1	1.414	
2				1		
1						
1.414						

Вплив забруднення повітря за 2 роки на альтернативи зовнішніх критеріїв

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
4.110812	1	3.155733	1	3.155733	4.110812	1
1.523137	4.110812	1.523137	1	4.110812	1.523137	1.523137
0.828752	1	1		1.523137	1	1
1	1.523137	1		1	1.523137	
1.523137				1		
1						
1						

24

Практичний приклад роботи СППР

Альтернативи зовнішніх критеріїв з врахуванням впливів події та тенденції через 2 роки

Стадія хвороби	Фактори	Вікова категорія	Стать	Група хвороб	Період року	Доступ до ліків
0.809829	0.011330	0.487937	0.65	0.413838	0.817528	0.074288
0.106069	0.931497	0.416383	0.35	0.410732	0.091782	0.479985
0.013605	0.022660	0.027337		0.038046	0.014205	0.445727
0.011606	0.034514	0.068343		0.012489	0.076485	
0.050009				0.124894		
0.006567						
0.002321						

25

Порівняння результатів

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Підвищення імунітету”

Залежність тенденцій від часу	Вітамінізація	Вакцинація	Загартування
Логарифмічна	0.6370777235616667	0.30105816515539835	0.061864111282963694
Лінійна	0.6449292044670698	0.29210920829504056	0.0629615872379012

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Зміна стилю життя”

Залежність тенденцій від часу	регулярні фізичні вправи	здоровий сон	Відмова від шкідливих звичок	Повноцінне харчування
Логарифмічна	0.16548000698074308	0.32054698314233376	0.3173355712807451	0.1966374385962042
Лінійна	0.1662644464670766	0.31522540672399696	0.3244644995321067	0.19404564727683157

Найбільш очікувана результативність альтернатив для параметра “Метод боротьби”

Залежність тенденцій від часу	Профілактика	Лікування	Полікшення симптом	Хірургічне втручання
Логарифмічна	0.28853208995679624	0.5587929414622085	0.10503719079170648	0.0476377778931108
Лінійна	0.2788873065894429	0.5667240861843496	0.10494492075706625	0.04944368646914599

26

Висновки

В даній магістерській дисертації було реалізовано систему підтримки прийняття рішень на основі двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу з урахуванням змін об'єкта в часі, що дозволяє отримувати рішення в умовах невизначеності та неповноти інформації про навколишнє середовище, а також в умовах динамічно змінюваного середовища.

Для реалізації поставленої задачі були виконані наступні кроки:

- проаналізовано існуючі системи підтримки прийняття рішень та виявлено їх переваги та недоліки;
- описано процедуру експертного оцінювання;
- проведено опис кожного з етапів двохетапного модифікованого методу морфологічного аналізу;
- наведено два варіанти врахування параметру часу та проаргументовано вибір найкращого;
- запропоновано використовувати логарифмічний характер залежності тенденцій від часу, що більш точно відображає характер процесів у природі;
- виконано програмну реалізацію системи підтримки прийняття рішень з запропонованими в дисертації модифікаціями;
- приведено приклад використання розробленої програми на конкретному практичному прикладі проблеми захворюваності населення, що яскраво відображає доцільність розробки такої системи.

Дякую за увагу!

ДОДАТОК Б ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

```

'use strict'

const Combinatorics = require('js-combinatorics')
const fs = require('fs')

const execSync = require('child_process').execSync;
const toCSV = require('array-to-csv')
const N = External.length

const sumOfAlts = External.reduce((sum, el) => sum += el.value.length, 0)
const configurations = generateConfigurations(External, C1)
const normedTempProbabilities = calculateNormedExternalConditionalProbabilities(External,
configurations)
const tempProbabilities = configurations.map(config => {
  return config.probabilities.map(p => {
    // in order to fixate one of the alternatives we should divide total probability on this alternative
    // probability
    return config.p.c*config.p.result/p
  })
})

const cval = configurations.map(config => {
  return config.p.c
})

const matricesP = []

for(let j=0;j<External.length;j++) {
  matricesP.push(calculatePMatrix(External,j,configurations,normedTempProbabilities))
}

const multipliedMatricesP = matricesP.reduce((P, matrix) => { return P ? multiply(P, matrix) : matrix},
null)

// getting x1 solution using python script
fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/p.json`, JSON.stringify(multipliedMatricesP))
const solutionString = execSync(`python vectors.py ${solutionName}`, {encoding: 'utf-8'});
const solution = solutionString
  .trim()
  .split('\n')
  .map(x => [ parseFloat(x.slice(1, x.length-1))] )

const S = [normalize(solution)]

let x = normalize(solution)
for(let i=matricesP.length-1; i>=0; i--) {
  x = multiply(matricesP[i], x)
}

```

```

    S[i] = x
  }

const finalConfigurationProbabilities = configurations.map((el, index) => {
  let finalProbability = 1
  el.combination.forEach((altIndex, flIndex) => {
    finalProbability *= S[flIndex][altIndex]
  })

  return [el.combination.join(','), finalProbability]
})

const connectionProbabilities = []

for(let j=0;j<configurations.length;j++) {
  connectionProbabilities.push([])
  for(let k=0;k<Internal.length;k++) {
    let temp = []
    for(let l=0;l<Internal[k].value.length;l++) {
      temp.push({combination: configurations[j].combination, p: calculateConnectionProbability({
        E: External,
        M: Internal,
        C: C2,
        flIndex: k,
        altIndex: l,
        combination: configurations[j].combination})})
    }
    connectionProbabilities[j].push(temp)
  }
}

const sumPerConfig = connectionProbabilities.map(conditionalResultativity => {
  return conditionalResultativity.map((probs) => {
    return probs.reduce((sum, el) => {
      return sum += el.p
    }, 0)
  })
})

const normedConnectionProbabilities = connectionProbabilities.map((conditionalResultativity,
confIndex) => {
  return conditionalResultativity.map((F, flIndex) => {
    return F.map((altResultativity, i) => {
      return {combination: altResultativity.combination, p:
altResultativity.p/sumPerConfig[confIndex][flIndex]}
    })
  })
})

const normedConditionalResultativity = normedConnectionProbabilities.map(row => {
  return row.reduce((sum, F) => {

```

```

    return sum = sum.concat(...F
  }, [])
})

const simpleNormedConditionalResultativity = normedConditionalResultativity.map( x =>
[x[0].combination.join(','), ...x.map(x => x.p)])

const sizeOfR = normedConditionalResultativity[0].length
const aggregatedR = []
for(let i=0;i<sizeOfR;i++) {
  aggregatedR.push(0)
}

let first = true
const R = simpleNormedConditionalResultativity.reduce((finalResultativity, conditionalResultativity,
confIndex) => {
  for(let i=1; i<conditionalResultativity.length; i++) {
    finalResultativity[i-1] += conditionalResultativity[i]*finalConfigurationProbabilities[confIndex][1]
  }

  return finalResultativity
}, aggregatedR)

fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, '<h4>C.csv</h4>')
fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, matrixToHTML({M: C1, colName: 'c'}))
fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/C.csv`, toCSV(C1))

fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`,
'<h4>p-conditional-unnormed.csv</h4>')
fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, matrixToHTML({M: tempProbabilities,
colName: 'p'}))

fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`,
'<h4>p-conditional-first-stage.csv</h4>')
fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, matrixToHTML({M:
normedTempProbabilities, colName: 'p'}))
fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/p-conditional-first-stage.csv`,
toCSV(normedTempProbabilities))

matricesP.forEach((matrix, index) => {
  fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, `<h4>P${index}
(p${index}.csv)</h4>`)
  fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, matrixToHTML({M: matrix, colName:
`p${index}`}))
  fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/p${index}.csv`, toCSV(matrix))
})

fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, `<h4>P multiplication
result(p.csv)</h4>`)
fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, matrixToHTML({M:
multipliedMatricesP, colName: 'P'}))

```



```

fs.writeFileSync(`solutions/${solutionName}/p.csv`, toCSV(multipliedMatricesP))

S.forEach((solution, i) => {
  fs.appendFileSync(`solutions/${solutionName}/results.html`, `

#### 


```

```

return {
  result,
  c
}

function getIndex({fIndex, altIndex}) {

  let trueIndex = altIndex

  for(let i = 0; i < fIndex; i++) {
    trueIndex += M[i].value.length
  }

  return trueIndex
}

function calculatePMatrix(M, i, configurations, NormedProbabilities) {

  const nextIndex = (i+1)%M.length
  const Current = M[i]
  const Next = M[nextIndex]

  let P = []

  for(let j=0;j<Current.value.length;j++) {
    let temp = []
    for(let k=0;k<Next.value.length;k++) {
      temp.push(0)
    }C1
    P.push(temp)
  }

  for(let j=0;j<Current.value.length;j++) {
    configurations.filter( c => c.combination[i] === j).forEach((conf, index) => {
      P[j][conf.combination[nextIndex]] += NormedProbabilities[conf.index][nextIndex]
    })
  }
  return P
}

function calculateConnectionProbability({E, M, C, fIndex, altIndex, combination}) {
  let result = 1
  combination.forEach((combAltIndex, combFIndex) => {
    result *= (1 + C[getIndex(combFIndex, combAltIndex)][getInternalIndex(fIndex, altIndex)])
  })

  return result*M[fIndex].value[altIndex].p
}

```

```

function getIndex(fIndex, altIndex) {
  let trueIndex = altIndex
  for(let i = 0; i < fIndex; i++) {
    trueIndex += E[i].value.length
  }
  return trueIndex
}

function getInternalIndex(fIndex, altIndex) {
  let trueIndex = altIndex
  for(let i = 0; i < fIndex; i++) {
    trueIndex += M[i].value.length
  }

  return trueIndex
}

function generateConfigurations(MorphMatrix, ConnectionMatrix) {
  const M = MorphMatrix
  const C = ConnectionMatrix

  const configurations = []
  let j=0
  for(let i1=0;i1<M[0].value.length;i1++)
    for(let i2=0;i2<M[1].value.length;i2++)
      for(let i3=0;i3<M[2].value.length;i3++)
        for(let i4=0;i4<M[3].value.length;i4++)
          for(let i5=0;i5<M[4].value.length;i5++)
            for(let i6=0;i6<M[5].value.length;i6++)
              for(let i7=0;i7<M[6].value.length;i7++) {
                const combination = [i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7]

                const probabilities = [
                  M[0].value[i1].p,
                  M[1].value[i2].p,
                  M[2].value[i3].p,
                  M[3].value[i4].p,
                  M[4].value[i5].p,
                  M[5].value[i6].p,
                  M[6].value[i7].p,
                ]
                configurations.push({index: j++, combination, probabilities, p:
calculateConditionalExpectation(M, C, combination)})
              }
  return configurations
}

function calculateNormedExternalConditionalProbabilities(M, configurations) {
  const normingCoefs = []
  M.forEach((F, fIndex) => {

```

```

    normingCoefs.push([])
    F.value.forEach((alt, altIndex) => {
        normingCoefs[fIndex].push(0)
    })
})

const tempProbabilities = configurations.map(config => {
    return config.probabilities.map(p => {
        // in order to fixate one of the alternatives we should divide total probability on this
        alternative probability
        return config.p.c*config.p.result/p
    })
})

tempProbabilities.forEach((probabilities, confIndex) => {
    configurations[confIndex].combination.forEach((altIndex, fIndex) => {
        normingCoefs[fIndex][altIndex] += probabilities[fIndex]
    })
})

const normedTempProbabilities = tempProbabilities.map((probabilities, confIndex) => {
    const normedProbability = []
    configurations[confIndex].combination.forEach((altIndex, fIndex) => {
        normedProbability.push(probabilities[fIndex]/normingCoefs[fIndex][altIndex])
    })
    return normedProbability
})

return normedTempProbabilities
}

function matrixToHTML({M, colName, maxN}) {
    colName = colName || ''
    maxN = maxN || 400
    let tableT = '<table contenteditable=true><thead><tr>'
    const n = M.length
    const m = M[0].length
    for(let j=0;j<m;j++) {
        tableT += '<th>${colName + (j+1)}</th>'
    }

    tableT += '</tr><thead><tbody>'

    for(let i=0;i<Math.min(maxN, n);i++) {
        tableT += '<tr>'
        for(let j=0;j<m;j++) {
            tableT += '<td>${M[i][j]}</td>'
        }
        tableT += '</tr>'
    }
}

```

```

}

tableT += '</tbody><table>'

tableT += '<style type="text/css" media="screen">td,th {border: 1px dashed #aaa;padding: 5px;
/* font-family: monospace; */ } table { border: 1px solid #aaa; border-collapse: collapse;
} tr:nth-child(2n) { background-color: #eee}</style>'

return tableT += '<br>'
}

function multiply(a, b) {
  var aNumRows = a.length, aNumCols = a[0].length,
      bNumRows = b.length, bNumCols = b[0].length,
      m = new Array(aNumRows); // initialize array of rows
  for (var r = 0; r < aNumRows; ++r) {
    m[r] = new Array(bNumCols); // initialize the current row
    for (var c = 0; c < bNumCols; ++c) {
      m[r][c] = 0; // initialize the current cell
      for (var i = 0; i < aNumCols; ++i) {
        m[r][c] += a[r][i] * b[i][c];
      }
    }
  }
  return m;
}

function normalize(M) {
  const sum = M.reduce((sum, el) => {
    return sum += el[0]
  }, 0)

  const result = M.map(x => [x[0]/sum])

  return result
}

```